SCIENCES ET AVENIR

©GRANDPALAISRMN/MUSÉEDU LOUVRE/MICHELAROUIMI

EL NIÑO
Alerte au monstre climatique p. 32

Le proto-élamite, apparu dans l'actuel Iran il y a 5000 ans, reste largement indéchiffré.

Les nouvelles origines de L'ÉCRITURE

L 13418 - 955 S - F: 5,30 € - RD

SEPTEMBRE 2026 - N° 955 - BEL-LUX 5,70€ - CH 9,50CHF - D 7,40€ - IT - ESP - GR - PORT-CONT 5,70€ - DOM 5,90€ - NCAL 800XPF - MAR 55MAD - TUN 11TND - CAN 8,20$CAD

SCIENCES ET AVENIR - N° 955 - SEPTEMBRE 2026 - LES NOUVELLES ORIGINES DE L'ÉCRITURE

Ce monde a (vraiment) besoin de musique.

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef

Une invention qui ne cesse de se réinventer…

Voilà plus de 5000 ans, des humains ont eu une idée pour le moins étrange : confier à des signes tracés dans l'argile ou gravés sur l'os ce qu'ils avaient jusque-là gardé en mémoire ou transmis par la parole. Étrange, car rien n'était évident. Il fallait imaginer des signes, leur donner un sens partagé, apprendre à les tracer puis à les reconnaître. Une invention incroyablement complexe, qui allait bouleverser l'histoire de l'humanité. Comment cette aventure a-t-elle commencé ? La question connaît aujourd'hui un nouvel élan. Numérisation de milliers d'inscriptions, analyses informatiques, nouvelles méthodes archéologiques : des textes muets depuis cinq millénaires livrent de nouveaux indices.

À l'heure des émojis et des messages vocaux, la prochaine métamorphose a déjà commencé

Le proto-élamite, longtemps resté dans l'ombre du cunéiforme, première écriture « officielle », est ainsi devenu un terrain de recherche privilégié pour comprendre les premiers pas de l'écriture (p. 60). Et ce qui se dessine bouscule le récit classique. Des pictogrammes aux idéogrammes, puis aux syllabaires et enfin à l'alphabet : l'histoire semblait être celle d'une marche vers toujours plus d'efficacité (p. 58). Une belle histoire. Sans doute trop belle. L'écriture apparaît désormais comme une création protéiforme, née indépendamment en plusieurs points du globe et empruntant des chemins différents selon les sociétés. Mais pourquoi écrire ? Pour compter en Mésopotamie, affirmer le pouvoir en Égypte, interroger les dieux en Chine… aucune cause unique ne suffit à l'expliquer (p. 65). Et, surprise, l'invention n'est même pas irréversible : il y a cinq millénaires, le proto-élamite fut abandonné après quelques générations. Naître, se transformer, disparaître parfois… L'écriture n'a jamais cessé de se réinventer. À l'heure des émojis et des messages vocaux, sa prochaine métamorphose a déjà commencé. ■

SCIENCES ET AVENIR

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (11 numéros dont un double) : 35 € 1 an complet (11 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233.304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
Éditions Croque Futur - Village 5, 50 – 54 rue de l'Ellipse, 92000 Nanterre
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Rédacteur en chef Sciences et Avenir
Mathieu NOWAK - 01.55.35.56.38
Rédacteur en chef La Recherche
Philippe PAJOT - 01.70.98.19.29
Rédacteur en chef digital
Olivier LASCAR - 01.55.35.56.15
Rédacteurs en chef adjoints
Hugo JALINIÈRE - 01.55.35.56.52, Fabrice NICOT - 01.55.35.56.46,

Hervé RATEL (chef de service adjoint, actualités) - 01.55.35.56.45, Franck DANINOS (chef de rubrique, fondamental) - 01.55.35.56.78, Thaïs de BASTARD (actualités, expositions)

Directeur artistique Nicolas NIRO – Surikatt
Rédactrice-graphiste Kristel PIERRE
1re secrétaire de rédaction Géraldine LALU 01.55.35.56.18
Photo-iconographie Nathalie BENCAL

Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Johan KIEKEN
Chroniqueur Jean-Gabriel GANASCIA

Ont participé à ce numéro :
L. CHAUVEAU, V. CONSTANTIN, S. DE LACERDA, A. DEVILLARD, C. GOYA, N. GUTIERREZ C., C. JOURDAN, P. KALDY, L. LOUMÉ, Z. LOVERGNE, J.-P. ROUSSEAU, N. SAIGNES

Assistante de direction Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

Courrier des lecteurs Sara DE LACERDA
courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

Pôle digital
Isabelle DO O'GOMES
(cheffe de rubrique, veille) - 01.55.35.56.49,
Yann BOURDAIS (chef de projet junior),
Flora ISSINGUI (cheffe de projet marketing digital)

Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Les Éditions Croque Futur
SAS au capital de 10 100 000 euros
associé UFIPAR (LVMH) - 41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Président et directeur de la publication Maurice SZAFRAN
Directeur général Thierry MASSÉ
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI

Responsable réabonnement Yasmina FERHAT – 01.55.35.56.64
Responsable du marketing direct Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Partenariats et événements Alain SCEMAMA - 01.58.65.03.58

Comptabilité - compta@challenges.fr

Responsable ressources humaines William AFTHONIADES - wafthoniades@challenges.fr

Fabrication Creatoprint

Publicité
MediaObs 44, rue Notre-Dame-des-Victoires
75002 Paris - 01.44.88.97.70
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directrice de publicité Caroline GILLES - 01.44.88.89.03
Exécution Émilien RIGNOLS - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20

Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,018 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC 10-31-1557 pefc-france.org

FR

ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte : les lettres « Sciences et Avenir bienvenue aux abonnés », « Sciences et Avenir Parrainage » et le message « Challenges » jetés sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés ; ainsi que les messages « First Voyages » jetés sur couverture sur la totalité de la diffusion abonnés.
Commission paritaire n° 1126 K 79712.
ISSN 3040-0457. Distribué par MLP.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 955 / Septembre 2026

DOSSIER P. 56

Les nouvelles origines de l'écriture

Premiers usages, systèmes oubliés, écritures indéchiffrées… les recherches actuelles modifient notre regard sur les débuts de l'écriture. Enquête sur les plus récentes découvertes qui bousculent sa chronologie toute tracée.

3 **Édito** par Mathieu Nowak

SCIENCES FONDAMENTALES

6 **ACTUALITÉS** L'IA bouleverse les mathématiques / Des miroirs dans l'espace pour éclairer la nuit / Ordinateur quantique : sa fiabilité confirmée

18 **Journal de l'IA : Des algorithmes pour penser le monde réel**

20 **Télescope : Nancy Grace Roman, le paparazzi de l'espace**

25 **Les Ig-Nobel, la science par le rire**

28 **L'espace, nouvelle frontière des data centers**

NATURE

10 **ACTUALITÉS** Plus de sécheresses et moins de feux / Un riz allégé en cadmium

32 **El Niño : Les craintes d'un épisode extrême se confirment**

37 **Les anges gardiens du lynx boréal**

40 **Quand l'IA s'entraîne à écrire le vivant**

43 **Moins surveillé, le kakapo se porte mieux**

SANTÉ

12 **ACTUALITÉS** Enfin, une cartographie du nerf vague / En RDC, Ebola est passé sous les radars / La madeleine de Proust expliquée par les neurosciences

44 **Dépression : La révolution des traitements express**

49 **Une opération inédite pour recouvrer la vue**

50 **Acouphènes : la piste des circuits neuronaux**

54 **Nutrition : Céréales du petit-déjeuner, comment s'y retrouver**

HISTOIRE

16 **ACTUALITÉS** Un rouleau d'Herculanum déchiffré / Comment la variole est arrivée en Australie

72 **D'Artagnan : À la recherche du quatrième mousquetaire**

77 **Premiers feux chez les hominines**

78 **Histoire des sciences : Arago, le « génie des occasions saisies »**

RENDEZ-VOUS

82 **Sélection livres**

84 **Expositions**

86 **Questions de lecteurs**

87 **Courrier**

88 **Le ciel de septembre**

90 **À retrouver sur le Web**

P. 20

Télescope : Roman, paparazzi de l'espace

Après Euclid et James-Webb, le nouveau fleuron de la Nasa s'apprête à décoller pour aller observer l'Univers profond. Il tentera enfin de percer la nature de l'énergie noire.

P. 44

Des traitements express contre la dépression

Et si on soignait les formes résistantes de cette maladie en reprogrammant les circuits cérébraux ? Exploration des nouvelles pistes thérapeutiques, plus rapides et moins lourdes.

P. 72

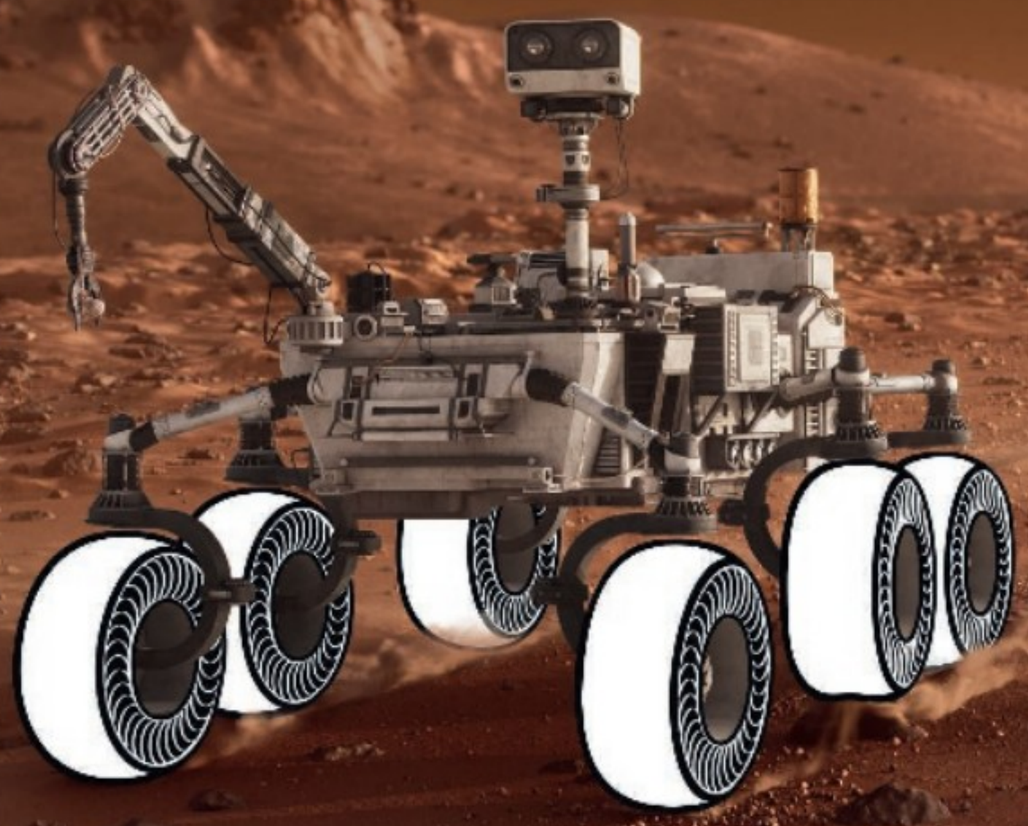
À la recherche du corps de D'Artagnan

Un squelette exhumé dans une église des Pays-Bas pourrait lever le secret de la sépulture du mousquetaire, sur fond de rivalités mémorielles et d'enjeux diplomatiques.

COLLECTION DAGLI ORTI / MUSÉE DU LOUVRE PARIS / GIANNI DAGLI ORTI / AURIMAGES - NASA - SHUTTERSTOCK - COURTESY OF AN ANONYMOUS SOURCE/AFP

SUR LA ROUTE ET AU-DELÀ

Notre expertise dans les matériaux composites nous permet de développer des pneus adaptés à l'exploration spatiale.

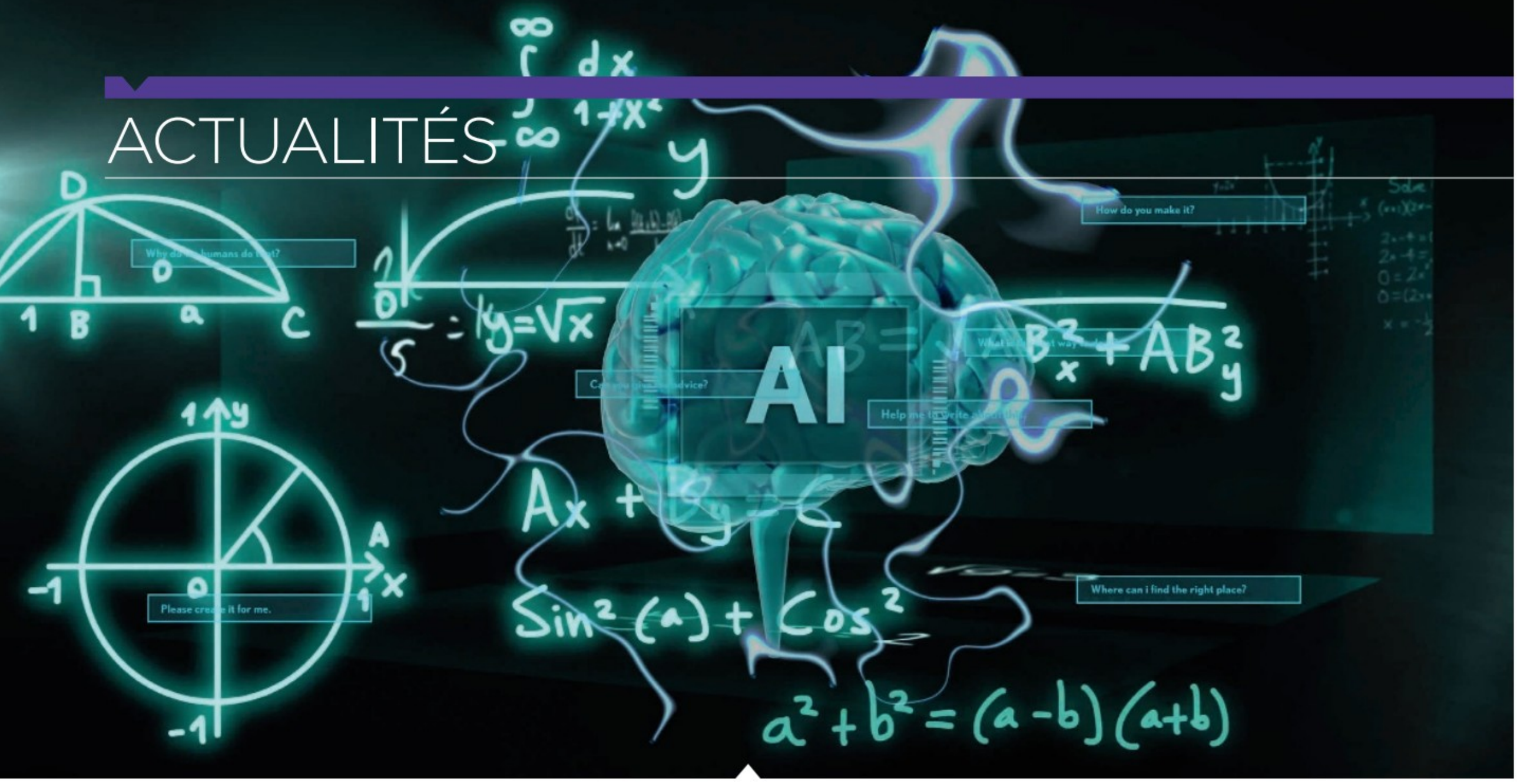


MOTION FOR LIFE = LE MOUVEMENT C'EST LA VIE

MICHELIN

MOTION FOR LIFE

BETC – M.F.P. Michelin – S.A.S. – Au capital de 504 000 004 € - Place des Carmes-Déchaux 63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 – 855 200 507 RCS Clermont-Ferrand.



Avec Astra et Lean, l'intelligence artificielle passe un cap dans la recherche mathématique, entre création et vérification des preuves (vue d'artiste).

L'IA bouleverse les mathématiques

Dix questions sur lesquelles les chercheurs butaient depuis des années viennent de connaître des avancées majeures grâce à un modèle d'OpenAI. Un changement d'échelle vertigineux.

Coup de tonnerre dans le monde des mathématiques : un modèle expérimental d'OpenAI, Astra, a résolu dix problèmes ouverts qui tenaient en échec les chercheurs depuis plusieurs décennies. C'est ce qu'a annoncé le géant de l'IA générative le 1er août en publiant un document de 249 pages de preuves formalisées.

Si ces résultats résistent à l'examen de la communauté *« ça va bouleverser complètement les mathématiques »,* réagit Hugo Duminil-Copin, chercheur à l'université de Genève et médaille Fields 2022. Car ce n'est pas la première alerte : en mai, un modèle d'OpenAI, déjà, avait réfuté une conjecture formulée en 1946 par le mathématicien hongrois Paul Erdős (1913-1996). Quelques mois avant, en 2025, OpenAI et Google avaient atteint la médaille d'or aux Olympiades internationales de mathématiques. Mais ils résolvaient encore des problèmes « simples ». Cette fois, Astra a produit des résultats originaux dans des domaines variés, dont trois autres problèmes de la célèbre liste d'Erdős.

Lean, un logiciel d'assistance à la preuve

« On passe d'une ère de pénurie des preuves à une ère d'abondance », prévient Terence Tao, autre médaillé Fields en 2006. L'éminent professeur à l'université de Californie (Ucla) à Los Angeles (États-Unis) ne cache toutefois pas sa réticence à commenter des résultats publiés par des entreprises technologiques en dehors du processus classique d'évaluation par les pairs. *« Si les machines produisent des démonstrations en masse, encore faudra-t-il les comprendre, les relier et en tirer de nouvelles idées »*, souligne-t-il.

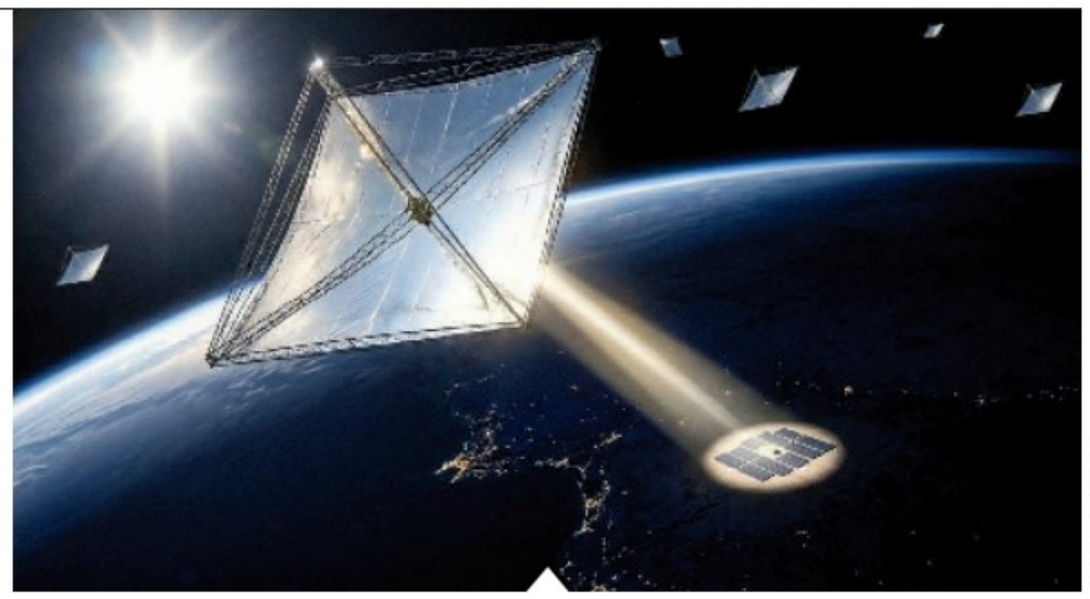
C'est ici qu'intervient Lean, un logiciel d'assistance à la preuve dont Kevin Buzzard, professeur à l'Imperial College de Londres (Royaume-Uni), est l'un des artisans. Cet outil permet de traduire une démonstration et d'en vérifier automatiquement chaque étape. C'est justement là qu'Astra a formalisé ses résultats, augmentant la confiance qu'on peut leur accorder. Mais pour le mathématicien, l'important est moins dans la portée de ces résultats que dans leur accumulation : *« En mai, OpenAI a résolu un problème difficile. En août, il en a résolu dix et les a tous formalisés dans Lean. Que va-t-il se passer en novembre ? »*

« On ne peut pas faire comme si ça n'existait pas, admet Hugo Duminil-Copin qui publie à la rentrée "De l'autre côté du tableau noir. Les mathématiques à visage humain." (Seuil). *Mais je m'inquiète qu'on oublie qu'en mathématiques, le chemin pour parvenir à un résultat est parfois plus important que le résultat lui-même.* » ■ **H. J.**

SHUTTERSTOCK

Des miroirs dans l'espace pour éclairer la nuit

Première autorisation donnée à un satellite qui pourrait prolonger le jour artificiellement.



REFLECT ORBITAL

Placé à 600 km d'altitude, Eärendil-1 emportera un miroir de 324 m² pour réfléchir la lumière du Soleil.

L'entreprise californienne Reflect Orbital vient d'obtenir de la Commission fédérale des communications américaine (FCC) l'autorisation de lancer Eärendil-1, un satellite équipé d'un miroir carré de 18 m destiné à réfléchir la lumière du Soleil vers la Terre. Placé à 600 km d'altitude, il éclairera une zone d'environ cinq km de diamètre avec une luminosité jusqu'à quatre fois supérieure à celle de la pleine Lune. À terme, l'entreprise envisage une constellation de 50 000 satellites pour prolonger la production d'énergie photovoltaïque. Toutefois, ce projet inquiète. Selon une étude préliminaire, une telle constellation tripplerait la luminosité naturelle du ciel nocturne, compromettant les observations du ciel et perturbant les rythmes biologiques de nombreuses espèces. Mais la FCC ne réglemente que les communications par satellite, et laisse sans réponse ces questions environnementales. **N. G. C.**

EN DEUX MOTS

PHYSIQUE Deux équipes indépendantes ont annoncé la création des premières horloges nucléaires fonctionnelles, plus précises que les horloges atomiques. **GÉOLOGIE** Une nouvelle datation fixe à 3,02 milliards d'années l'âge du *North Pole Dome*, en Australie, confirmant qu'il s'agit du plus ancien site d'impact météoritique connu sur Terre. **ASTRONOMIE** La comète interstellaire 3I/Atlas serait un vestige d'un système planétaire âgé de 12 milliards d'années, selon l'analyse de ses glaces par le télescope James-Webb.

ESO/M. KORNMESSER

L'objet (au centre) est aussi massif que Jupiter.

L'exosatellite qui bouscule la notion d'exolune

ASTRONOMIE La première détection plausible d'un exosatellite serait aussi celle d'une exolune, selon des astronomes. À 73 années-lumière, dans le système CD-35 2722, l'objet — aussi massif que Jupiter — orbite autour d'une naine brune… elle-même liée à une étoile. Posant cette question : une lune peut-elle tourner autour d'un objet qui n'est pas une planète ? Cette découverte conduirait à redéfinir la notion même d'exolune. **H. J.**

SOURCE : KEVIN HOY, OBSERVATOIRE EUROPÉEN AUSTRAL, CHILI

1,7 million d'années-lumière

ASTRONOMIE C'est le diamètre de IC 1101, la plus grande galaxie jamais observée. Soit environ 15 fois celui de la Voie lactée. Sa masse est estimée à 3400 milliards de fois celle du Soleil. Et en absorbant d'autres galaxies, elle continue de grossir. F. N.

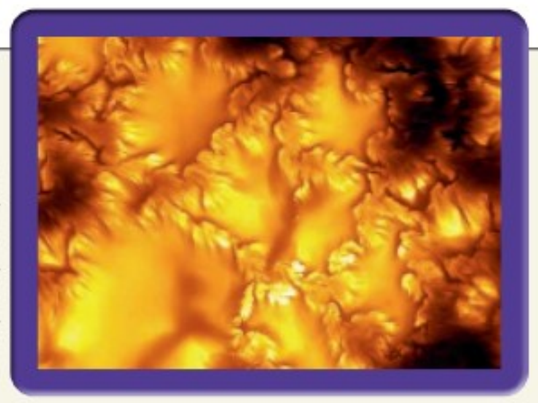
SOURCE : CARLOS MARRERO DE LA ROSA, UNIVERSITÉ DE LA LAGUNA, ESPAGNE

Les batteries à base de sodium concurrencent celles au lithium

ÉLECTROCHIMIE Les batteries sodium-ion passent à la vitesse supérieure. Le géant chinois CATL, premier fabricant mondial de batteries, lancera leur production de masse d'ici à fin 2026. Leur densité énergétique reste inférieure à celle des meilleures batteries lithium-ion, mais elles sont moins coûteuses, plus sûres et reposent sur un élément beaucoup plus abondant que le lithium. **F. N.**

CATL lancera une production de masse fin 2026. ►

GETTY IMAGES



NSF/NSO/AURA/MPS

À VOIR SUR LE NET

Au plus près du Soleil

ASTRONOMIE Des tourbillons et des remous dignes d'un fleuve en crue… Grâce au télescope solaire Daniel K. Inouye, à Hawaï, des scientifiques ont obtenu les images les plus détaillées jamais réalisées de la surface visible du Soleil. Elles montrent, pour la première fois, comment deux courants de plasma s'enroulent l'un autour de l'autre près d'une tache solaire, formant de gigantesques tourbillons. **H. J.**

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

IL A DIT

« Notre pistolet à lessive doit permettre de désinfecter les matériaux souples dans les habitats spatiaux comme l'ISS »

Dr Gabe Xu, professeur de génie mécanique à l'université de l'Alabama (États-Unis), dont l'équipe a développé un pistolet générant un plasma froid à partir d'hélium, d'air et de vapeur d'eau pour nettoyer les combinaisons et le matériel des astronautes.

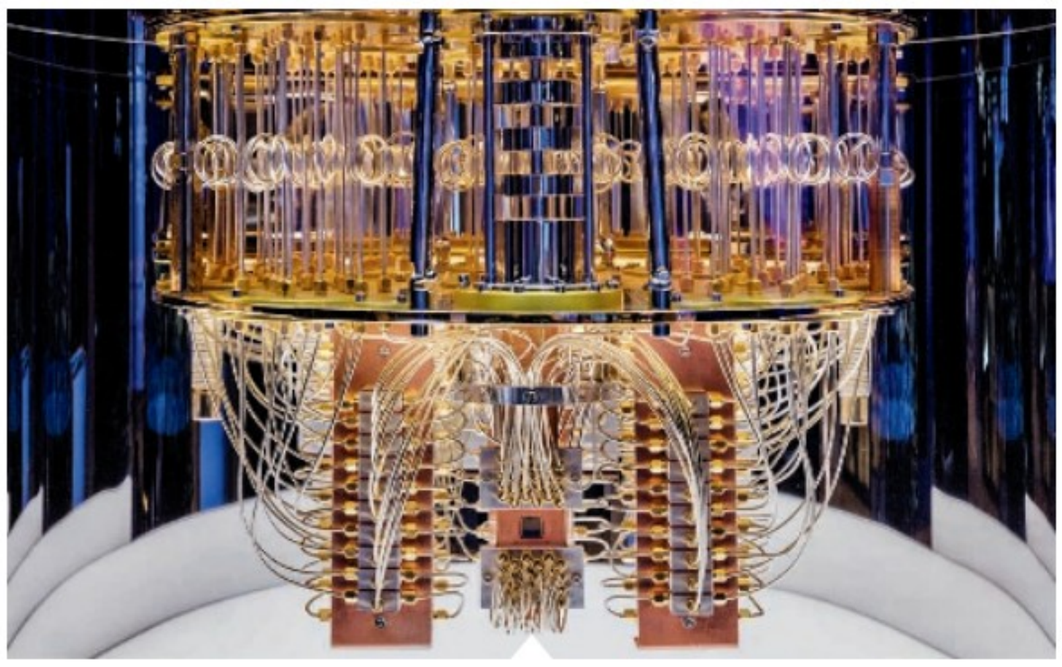
Stocker l'énergie sous forme liquide

CHIMIE Inspiré du cytosquelette des cellules, un polymère mis au point par des chercheurs américains absorbe l'énergie (lumière, électricité, rayons X…), se transforme en gel conducteur capable de la stocker pendant plusieurs mois, puis la restitue à la demande pour alimenter des réactions chimiques. Au contact de l'air, il retrouve sa forme liquide et peut être rechargé. Une piste prometteuse pour le stockage des énergies renouvelables. **H. J.**

SOURCE : TYLER JAYNES, UNIVERSITÉ NORTHWESTERN, ÉTATS-UNIS

Ordinateur quantique : sa fiabilité confirmée

Ouf ! Nous pouvons faire confiance aux calculs réalisés par les ordinateurs quantiques, selon trois études publiées par IBM le 30 juillet dernier. Cela n'allait pas de soi, puisque la technologie quantique permet des calculs en théorie inaccessibles aux machines classiques. Alors comment savoir qu'un ordinateur quantique « n'hallucine » pas ? Deux études portent sur des simulations de matériaux quantiques particulièrement complexes. Les chercheurs ont montré que les résultats restent cohérents malgré des tests poussés : variation volontaire du niveau d'erreurs affectant le calcul, exécution sur plusieurs processeurs, ou comparaison avec les cas encore accessibles aux méthodes classiques. La troisième étude propose un dispositif permettant d'estimer directement la fiabilité d'un calcul quantique en même temps qu'il est réalisé. Ces travaux renforcent la confiance dans l'ordinateur quantique, sans pour autant démontrer définitivement le fameux « avantage quantique », car les algorithmes classiques continuent, eux aussi, de progresser. **F. N.**



IBM

Trois études d'IBM renforcent la confiance dans les calculs quantiques.

GMT/GENERATION-NT.COM

Cet échantillon de trinitite rouge mesure 1 cm de large.

Un nouveau cristal, né d'une explosion nucléaire

MATÉRIAUX Quatre-vingts ans après Trinity, premier essai nucléaire de l'histoire, la trinitite — le verre formé par la fusion du sable sous l'effet de l'explosion — continue de livrer des surprises. Des chercheurs y ont découvert un cristal inédit, composé de calcium, de cuivre et de silicium. Formé sous les températures et pressions de la détonation, il éclaire la naissance de matériaux exotiques lors d'événements extrêmes. **H. J.**

SOURCE : LUCA BINDI, UNIVERSITÉ DE FLORENCE, ITALIE

LES CROISIÈRES DU SAVOIR SCIENCES ET AVENIR

www.croisiere-du-savoir.fr

DES VOLCANS ET DES HOMMES
Une odyssée méditerranéenne

du 23 octobre au 1er novembre 2026

10 JOURS - 9 NUITS

Mathieu Nowak

Rédacteur en chef de Sciences et Avenir

En octobre 2026, *Sciences et Avenir* vous propose d'embarquer pour une nouvelle « Croisière du savoir » en compagnie de deux éminents scientifiques. Cette année, nous vous invitons à explorer un bassin méditerranéen façonné à la fois par les forces du feu et par les grandes civilisations qui l'ont peuplé. De Nice à Istanbul en passant par l'Italie, la Sicile et la Grèce, cette odyssée offrira une lecture inédite du monde méditerranéen, mêlant sciences, récits et émotions.

Tout au long du voyage, nous serons accompagnés par Philippe Charlier et Jacques-Marie Bardintzeff. Volcanologue et professeur des universités à l'Université Paris-Saclay, Jacques-Marie Bardintzeff nous guidera à la rencontre des géants de feu méditerranéens — Vésuve, Stromboli, Etna, que nous approcherons. Quant à Philippe Charlier, médecin légiste, anthropologue et historien, connu pour ses enquêtes sur Richard Cœur de Lion ou Henri IV, il éclairera la manière dont les sociétés méditerranéennes ont appréhendé la vie, la mort et le corps humain, avec une attention particulière portée aux traditions à Olympie.

Après avoir quitté Nice, nous rejoindrons Piombino puis Naples, dominée par l'imposante silhouette du Vésuve. Nous poursuivrons vers les îles Éoliennes, Lipari et Stromboli, avant de traverser le détroit de Messine pour regagner Catane, au pied de l'Etna. Notre traversée se prolongera ensuite vers la Grèce : Katakolon, porte d'accès au site d'Olympie ; puis Gythion, proche de la byzantine Mystra. Une escale à Syros précédera enfin notre arrivée à Istanbul, carrefour de l'Orient et de l'Occident.

Vos accompagnateurs Sciences et Avenir*

Philippe Charlier

Médecin légiste, anthropologue et historien, ancien directeur du département de la Recherche et de l'Enseignement au musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac, maître de conférences à l'université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines.

Jacques-Marie Bardintzeff

Volcanologue et professeur des universités à l'université Paris-Saclay, auteur de nombreux ouvrages dont « Volcanologue » (L'Harmattan, 2e édition, 2025).

* non contractuel, sous réserve de disponibilité.

Notre croisière se déroulera à bord du « MS Hamburg », un navire à taille humaine n'accueillant pas plus de 380 passagers avec trois espaces de conférences. Il répond aux dernières exigences environnementales sur les carburants, échappement et traitement des déchets. Il est exploité avec du diesel marin à faible teneur en soufre au lieu de l'huile lourde, conformément aux normes ISO actuelles et aux spécifications de MARPOL / OMI. Toutes les eaux usées sont traitées et purifiées avant d'être renvoyées hors du navire en qualité d'eau potable.

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS

PLEIN CAP « Croisières du Savoir »
CROISIÈRES PLEIN CAP : 251 ROUTE DE LA COLLE - 06270 VILLENEUVE-LOUBET
info@plein-cap.com - Tél. 04 93 20 21 20

ELLE A DIT

« C'est un exemple clair de la façon dont le changement climatique intensifie les extrêmes thermiques »

Samantha Burgess, directrice adjointe du service Copernicus sur le changement climatique, commentant le bulletin de l'observatoire européen. Celui-ci montre que l'Europe de l'Ouest a connu sa période juin-juillet la plus chaude depuis 1940, avec une température moyenne de 21,62 °C.

Un cancer transmissible chez un poisson

ICHTYOLOGIE Des biologistes ont identifié le premier cancer transmissible chez un poisson d'eau douce. Au sein de cette espèce de poisson-chat américain *(Ameiurus nebulosus)*, les cellules d'un mélanome passent directement d'un individu à l'autre, comme un parasite. Déjà observé chez le chien, le diable de Tasmanie et certains mollusques, ce mode de propagation pourrait être plus fréquent au cours de l'évolution qu'on ne le pensait. **H. J.**

SOURCE : EMILY CURD, UNIVERSITÉ DU VERMONT, ÉTATS-UNIS

VERMONT FISH AND WILDLIFE

MOHAMAD SALAHELDIN ABDELGHANI AL-/ANADOLU/ANADOLU VIA AFP

En dépit des chaleurs extrêmes, l'Europe du Sud a connu moins d'incendies sur la dernière décennie.

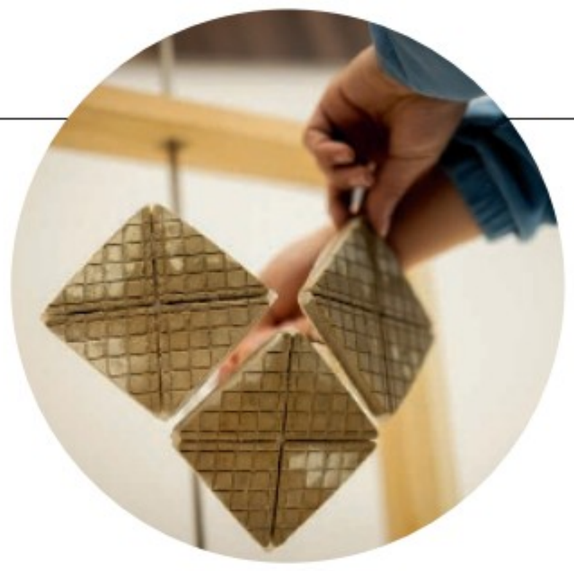
Plus de sécheresses et moins de feux

Malgré des étés plus propices aux mégafeux, les surfaces brûlées du Vieux Continent ont diminué. Mais cette situation pourrait évoluer.

Les incendies en Europe du Sud sont moins nombreux. Le constat a de quoi surprendre au vu des images spectaculaires de l'été, en Gironde ou en Espagne. C'est pourtant ce que montrent les données nationales compilées pour l'Espagne, le Portugal, la France, l'Italie et la Grèce dans une étude publiée dans *Scientific Reports*. Entre 2016 et 2025, ces cinq pays ont connu en moyenne 40 % d'incendies en moins que sur la période 1981-2010. Dans tous, sauf au Portugal, les surfaces brûlées restent inférieures à celles observées dans les années 1980. Un recul que les scientifiques attribuent au fait que les pays méditerranéens ont *« renforcé leurs capacités de lutte contre les incendies grâce à des équipes mieux formées, des moyens aériens accrus, des pare-feu, des stratégies d'intervention rapide et des campagnes de sensibilisation du public »*.

Des moyens de lutte bientôt dépassés

Pour autant, le changement climatique continue de jouer contre les pompiers. Alors que l'on comptait chaque été moins de 10 journées présentant des conditions météorologiques extrêmes favorables aux incendies entre 1981 et 2010, ce nombre a atteint jusqu'à 25 jours entre 2016 et 2025. Autrement dit, les épisodes propices aux grands feux sont devenus plus fréquents. Pour l'instant, l'amélioration de la lutte contre les incendies semble donc avoir *« contrebalancé l'aggravation des conditions météorologiques à risque liée au climat »*. Mais lorsque les flammes échappent aux premières interventions, elles deviennent plus rapides, intenses et difficiles à maîtriser. L'incendie de Saumos, en Gironde, devenu cet été le plus vaste en France depuis 1949, en est une illustration. Les auteurs estiment que les *« récents épisodes donnent à penser que les conditions météorologiques extrêmes induites par le climat commencent à dépasser les capacités des systèmes de lutte existants, et ce, bien plus tôt que ne le laissaient présager les projections »*. ■ **T. de B.**



ERIC SUCAR/UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA

Ces tuiles imitent la peau fripée des éléphants.

Des carreaux de ciment rafraîchissants

BIOMIMÉTISME Inspirés de la peau ridée des pachydermes, des carreaux de ciment pourraient refroidir les bâtiments de façon passive. À l'image des rides qui aident l'éléphant à conserver l'eau et à se rafraîchir par évaporation, un réseau de microfissures absorbe puis redistribue lentement l'humidité. Dans une maquette, la température sous ces tuiles est restée jusqu'à 20 °C plus basse qu'avec un revêtement classique. **H. J.**

SOURCE : QINGYA HUANG, UNIVERSITÉ DE PENNSYLVANIE, ÉTATS-UNIS

64 Plantes médicinales consommées par les orangs-outans

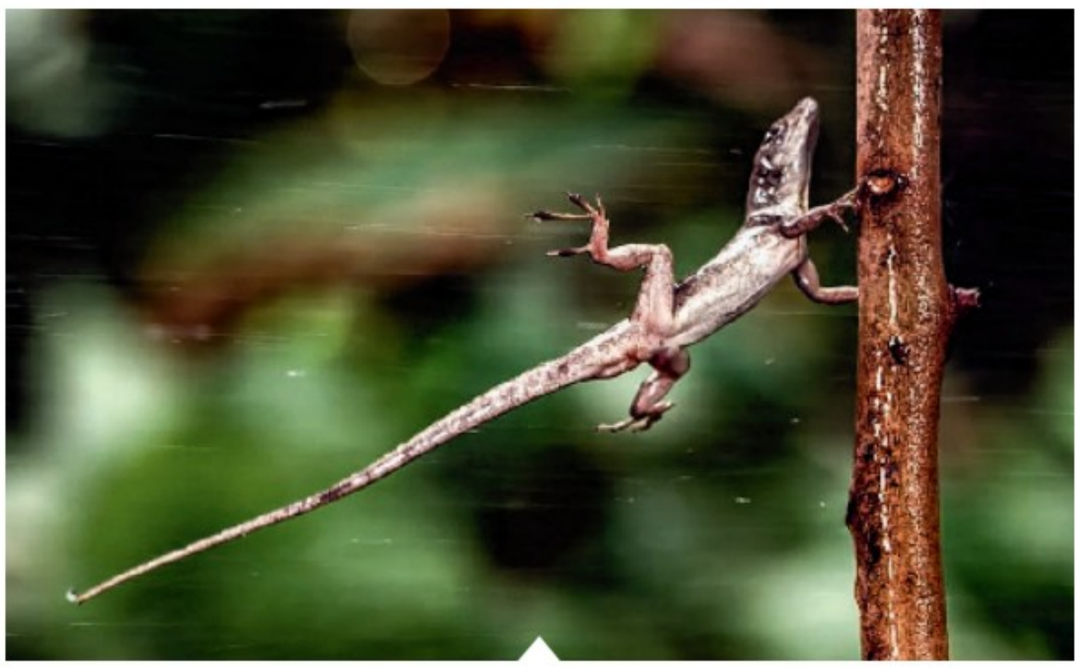
ÉTHOLOGIE Parmi les 202 espèces végétales mangées par les orangs-outans de Bornéo, 64 sont également utilisées comme remèdes par les populations autochtones de l'île. L'analyse de 12 236 repas observés chez 55 primates pendant vingt ans renforce l'hypothèse que ces grands singes sélectionnent ces plantes pour leurs propriétés médicinales. **H. J.**

SOURCE : GEORGIA ALLEN, UNIVERSITÉ D'EXETER, ROYAUME-UNI

Le lézard qui résiste aux tempêtes

ÉVOLUTION Les ouragans Irma et Maria ont accéléré la sélection naturelle chez de petits lézards des Caraïbes, révèle une étude américaine. Sept ans après leur passage, les scientifiques ont identifié un variant génétique associé à un orteil arrière plus court. Déjà présent dans la population, ce caractère permet aux anoles de mieux s'agripper aux branches et de résister aux vents extrêmes, comme l'ont confirmé des expériences en soufflerie. **P. K.**

SOURCE : COLIN DONIHUE, UNIVERSITÉ BROWN, ÉTATS-UNIS



DAY'S EDGE PRODUCTION

Grâce à un variant génétique, ce reptile s'accroche mieux aux branches.

OKAYAMA UNIVERSITY

L'accumulation du métal a été diminuée de moitié dans la céréale.

Un riz allégé en cadmium

Une équipe sino-japonaise a génétiquement modifié des plants pour les rendre moins contaminés par ce polluant toxique.

Alors que l'Agence nationale de sécurité sanitaire a récemment alerté sur la surexposition des Français au cadmium, un métal lourd cancérogène qui contamine notamment les céréales via les engrais phosphatés, des chercheurs sino-japonais annoncent dans la revue *Pnas* avoir mis au point un riz qui en accumule deux fois moins grâce à l'édition génétique. Le cadmium pénètre dans la plante en empruntant le même transporteur que le zinc, un oligoélément indispensable à la croissance du végétal. En modifiant précisément ce transporteur pour qu'il distingue mieux les deux éléments, les scientifiques ont limité de moitié l'accumulation du métal dans les grains. Les essais en plein champ montrent que ces plants conservent une croissance, un rendement et une qualité nutritionnelle comparables aux variétés actuelles. Les auteurs soulignent enfin que cette stratégie est bien plus rapide que les croisements conventionnels, qui demandent plusieurs années avant d'obtenir une variété d'intérêt. **P. K.**

Les microbes, alliés insoupçonnés de la croissance des arbres

ÉCOPHYSIOLOGIE En étudiant une chênaie soumise pendant six ans à une atmosphère artificiellement enrichie en CO_2, des scientifiques ont montré que les arbres alimentent alors davantage les microbes du sol en sucres. En retour, ces derniers libèrent 30 % d'azote en plus, tout en limitant les pertes de ce nutriment. Une alliance qui aiderait les forêts à maintenir leur croissance et leur capacité à stocker du carbone malgré le changement du climat. **H. J.**

SOURCE : MANON RUMEAU, UNIVERSITÉ DE BIRMINGHAM, ROYAUME-UNI

26 Le nombre de marqueurs génétiques de la fibromyalgie

GÉNÉTIQUE Une vaste analyse des génomes de 2 563 755 personnes — dont 54 629 malades — a permis d'identifier des premiers marqueurs de risque pour la fibromyalgie, syndrome caractérisé par une intense fatigue, des douleurs musculaires et articulaires. Communs à diverses pathologies, ces 26 variants pointent vers une origine cérébrale de la maladie. **P. K.**

SOURCE : ISABEL KERREBIJN, UNIVERSITÉ DE TORONTO, CANADA

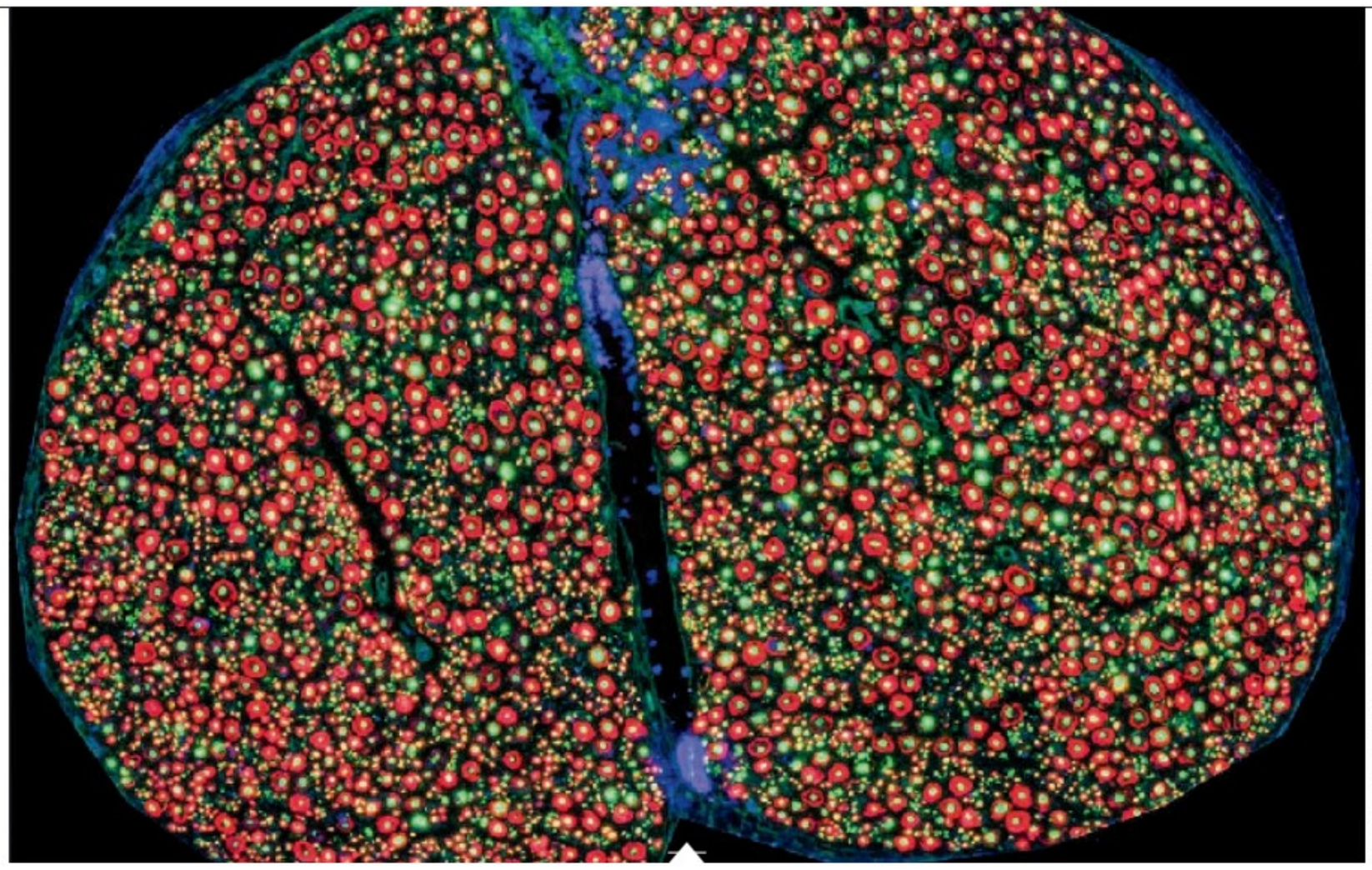
Ce capteur permettrait d'ajuster les doses de médicament.

DAVID BAILLOT/UC SAN DIEGO JACOBS SCHOOL OF ENGINEERING

Ce dispositif mesure le traitement contre Parkinson

E-SANTÉ Des scientifiques ont mis au point un patch qui mesure en continu, dans la sueur, le taux de lévodopa, médicament de référence contre la maladie de Parkinson. Fonctionnant sans batterie grâce à une réaction chimique, il affiche des performances similaires à celles d'une analyse sanguine. Il permettrait d'ajuster plus finement les doses et d'automatiser leur administration. **H. J.**

SOURCE : TAMOGHNA SAHA, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE SAN DIEGO, ÉTATS-UNIS



NAVEEN JAYAPRAKASH, NICOLE CARPENTIERE, PARISA SALEKNEZHAD, AND KHALED QANUD

Des milliers de coupes transversales ont été imagées par échographie et rayons X.

Enfin, une cartographie pour le nerf vague

Des chercheurs ont précisé les fonctions du dixième nerf crânien, le plus long d'entre eux, et des 200 000 fibres nerveuses qui le composent.

Véritable autoroute sensorielle reliant cerveau, cœur, poumons et système gastro-intestinal, le plus long nerf crânien vient d'être cartographié entièrement pour la première fois. Impliqué dans de nombreuses fonctions physiologiques (respiration, fréquence cardiaque, digestion, inflammation), celui qui a donné son nom au « malaise vagal », reste encore méconnu. En effet, comment cerner l'ensemble de ses rôles quand il se divise en plus de 200 000 fibres nerveuses reliées à des organes différents ? C'est le défi qu'a relevé une équipe des Feinstein Institutes (États-Unis), en réalisant des échographies et de l'imagerie par rayons X des nerfs prélevés sur 30 cadavres humains. Les scientifiques ont ensuite effectué des milliers de coupes transversales très fines, qu'ils ont exposées à des anticorps ciblant des neurotransmetteurs spécifiques.

Développer des thérapies plus ciblées

Cette méthode a permis de distinguer les fibres sensorielles, qui transmettent les signaux des organes vers le cerveau, des fibres motrices, responsables des contractions musculaires involontaires, révélant la fonction précise de chaque fibre et l'organe auquel elle est reliée.

« Nous espérons que ces données nous aideront à mieux comprendre comment le nerf vague et le système nerveux autonome influent sur la santé humaine, et comment ils interviennent dans de nombreuses maladies, a déclaré Stavros Zanos, médecin à l'origine du projet. *Nous pensons qu'elles accéléreront le développement de thérapies de neuromodulation du nerf vague, plus efficaces et plus sûres. »* À l'heure actuelle, les thérapies de stimulation à l'aide d'électrodes implantées dans la poitrine ou le cou inhibent l'activité convulsive dans le cerveau et atténuent la douleur. Mais, du fait de son ampleur et de sa haute résolution, cette cartographie pourrait ouvrir la voie à une stimulation bien plus précise pour le traitement de pathologies comme l'épilepsie, les accidents vasculaires cérébraux ou les maladies inflammatoires. ■ **T. de B.**

Le microbiote fécal au secours des allergiques aux arachides

ALLERGOLOGIE Des gélules renfermant des bactéries fécales prélevées chez un donneur non allergique ont permis à six des 15 participants d'un petit essai clinique d'augmenter leur tolérance à l'arachide. Quatre mois après le traitement, la plupart des répondeurs supportaient l'équivalent d'au moins une cacahuète sans aucune réaction allergique. **H. J.**

SOURCE : RIMA RACHID, HÔPITAL POUR ENFANTS DE BOSTON, ÉTATS-UNIS

Une thérapie génique soigne une forme rare d'épilepsie

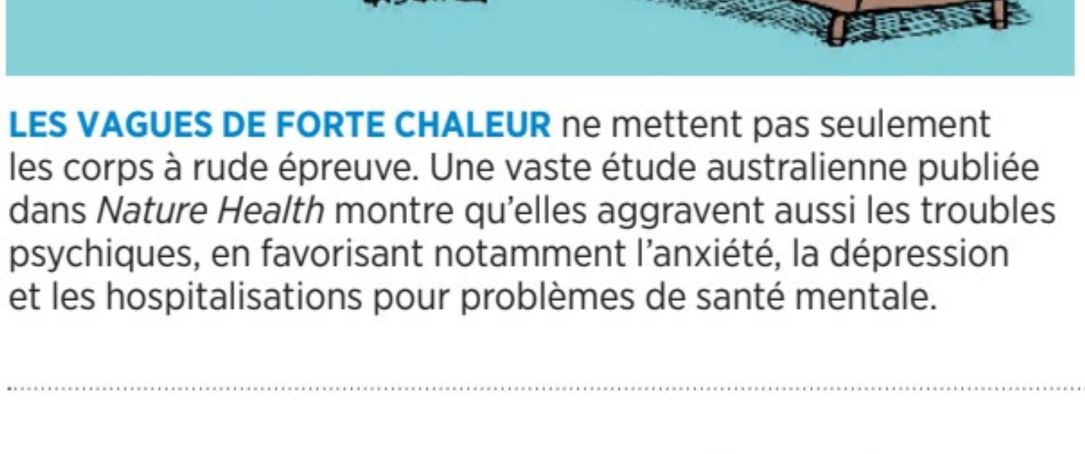
SHUTTERSTOCK

L'hyperactivité neuronale a chuté.

NEUROLOGIE Des scientifiques américains ont conçu un traitement personnalisé pour deux enfants atteints d'une épilepsie génétique rare. Au lieu de remplacer le gène défectueux, la thérapie bloque uniquement son expression, et laisse la copie saine fonctionner. La fréquence des crises a chuté jusqu'à 90 %, ouvrant la voie à une nouvelle génération de thérapies individualisées. **N. G. C.**

SOURCE : OLIVIA KIM-MCMANUS, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE SAN DIEGO, ÉTATS-UNIS

L'œil de Lascar



LES VAGUES DE FORTE CHALEUR ne mettent pas seulement les corps à rude épreuve. Une vaste étude australienne publiée dans *Nature Health* montre qu'elles aggravent aussi les troubles psychiques, en favorisant notamment l'anxiété, la dépression et les hospitalisations pour problèmes de santé mentale.

ELLE A DIT

« Les femmes vivent plus longtemps presque partout, mais passent aussi davantage de ces années en mauvaise santé »

Catherine Bisignano, chercheuse en santé publique à l'université de Washington (États-Unis), coauteure d'une étude montrant que l'espérance de vie progresse plus vite que l'espérance de vie en bonne santé, chez les hommes et chez les femmes.

En RDC, Ebola est passé sous les radars

Une enquête révèle que la fièvre hémorragique circulait au moins quatre mois avant d'être officiellement détectée, donnant une avance considérable au virus.

Alors que l'épidémie d'Ebola qui frappe la République démocratique du Congo a franchi le seuil des 2000 morts et s'annonce comme la deuxième plus meurtrière jamais recensée, une enquête de *Science* révèle qu'elle aurait débuté au moins quatre mois avant sa déclaration officielle, le 15 mai. En interrogeant près de 100 habitants, soignants et responsables locaux de Mongbwalu, foyer présumé de l'épidémie, des chercheurs ont reconstitué plus de 500 cas suspects, dès janvier. Plusieurs familles entières auraient été décimées, des soignants contaminés et le cimetière de la ville débordé, tandis que ces décès étaient attribués au sida, à la tuberculose ou aux conditions de travail dans les mines d'or. Ce retard dans l'alerte aurait largement favorisé la propagation du virus, pour une épidémie que les autorités peinent désormais à endiguer. **H. J.**

TONY KARUMBA / AFP

L'enquête a identifié 500 cas suspects dès janvier, jusqu'alors attribués à d'autres maladies.

L'e-cigarette réduit moins les risques qu'un sevrage complet.

SHUTTERSTOCK

Cancer du poumon : l'arrêt total du tabac protège plus que vapoter

ONCOLOGIE Passer du tabac à la vapoteuse réduit bien le risque de cancer du poumon, mais nettement moins que de ne plus fumer du tout comme l'a montré une étude conduite auprès de 4,5 millions de Coréens. Par rapport aux fumeurs, ce risque diminue de 44 % chez ceux qui sont complètement sevrés, contre seulement 12 % chez les ex-fumeurs qui vapotent. **P. K.**

SOURCE : YEON WOOK KIM, UNIVERSITÉ NATIONALE DE SÉOUL, CORÉE DU SUD

41 % La part d'adultes souffrant d'obésité aux États-Unis

SANTÉ La proportion d'adultes américains souffrant d'obésité est passée de 30 % à 41 % entre 1999 et 2023, selon une analyse de données nationales. Dans le même temps, l'obésité sévère a doublé, de 5 % à 10 %. À titre de comparaison, en France, l'obésité concernait 18,1 % des adultes en 2024, contre 8,5 % en 1997 selon l'Observatoire français d'épidémiologie de l'obésité. **H. J.**

SOURCE : ANUM MINHAS, ÉCOLE DE MÉDECINE JOHNS HOPKINS, ÉTATS-UNIS

SVEN HOPPE/DPA/GETTY IMAGES

Le candidat médicament vise à endiguer le déclin des fonctions cognitives chez les personnes âgées.

Un spray nasal pour lutter contre le vieillissement du cerveau

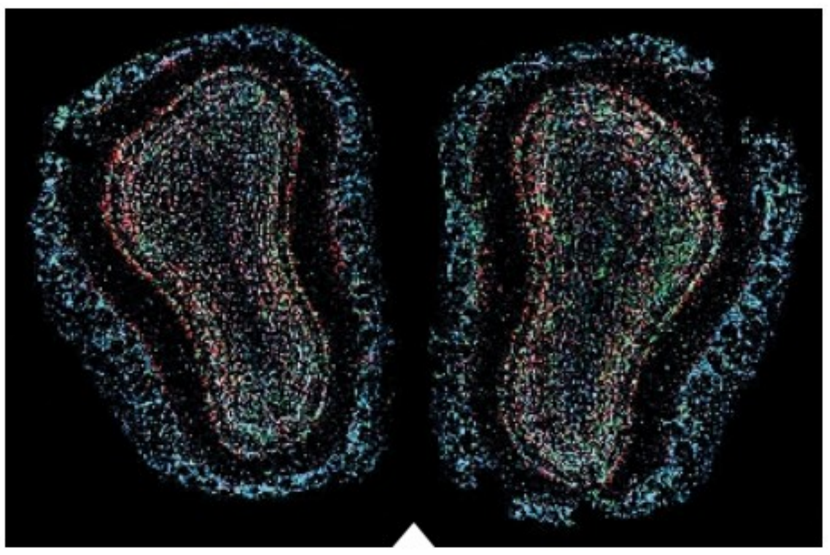
NEUROLOGIE Testé chez des souris modèles du déclin cognitif, un traitement à base de petites molécules produites par des cellules souches a amélioré leurs performances de mémoire. Administrées par voie nasale, des vésicules contenant ces micro-ARN contournent la barrière protectrice du cerveau pour y réduire directement l'inflammation liée au vieillissement. Reste à conduire un essai chez l'humain. **N. G. C.**

SOURCE : LEELAVATHI MADHU, UNIVERSITÉ TEXAS A&M, ÉTATS-UNIS

La madeleine de Proust expliquée par les neurosciences

Des neurones formés durant l'enfance expliqueraient pourquoi certaines odeurs réveillent plus tard des souvenirs chargés d'émotion.

Décrit par Marcel Proust dès 1913, le phénomène par lequel certaines odeurs ravivent des souvenirs d'enfance vivaces et généralement agréables trouverait sa source dans des neurones du bulbe olfactif. En exposant des souris à des odeurs plaisantes dans des environnements ludiques, une équipe du CNRS est parvenue à identifier ces neurones particuliers, qui se forment pendant la petite enfance et perdurent dans le temps, à l'inverse d'autres neurones qui se renouvellent souvent. Ils sont étroitement liés au cortex orbitofrontal, au tubercule olfactif et au cortex entorhinal latéral, des régions impliquées dans la régulation émotionnelle, la mémoire et la récompense. D'ailleurs, avec l'âge et la réorganisation des réseaux, la connectivité de ces neurones du bulbe olfactif se renforce au sein des circuits émotionnels. C'est la raison pour laquelle, une fois réactivés à l'âge adulte par l'odeur associée, la stimulation de ces neurones est associée à une forte charge affective liée à des souvenirs d'enfance. **T. de B.**



J. DEJOU/UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1

Bulbe olfactif de souris, observé par microscopie à épifluorescence, au cœur de la mémoire olfactive.

Le vaccin HPV fait chuter la mortalité

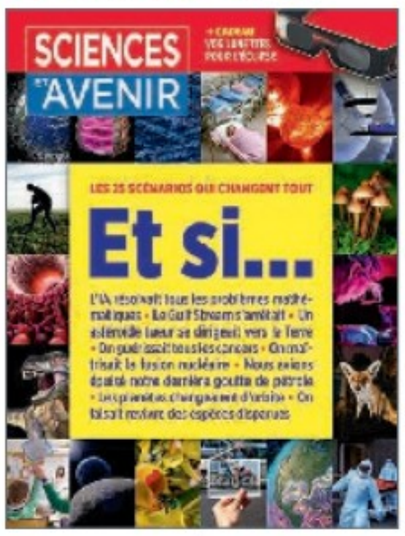
PRÉVENTION La vaccination contre les papillomavirus humains réduit fortement la mortalité par cancer du col de l'utérus en Angleterre, selon une étude publiée dans *The Lancet*. Entre 2020 et 2024, aucun décès n'a été enregistré chez les femmes de 20 à 24 ans vaccinées. Les chercheurs estiment que le programme a déjà permis d'éviter 200 décès depuis son introduction en 2008. **H. J.**

SOURCE : PETER SASIENI, QUEEN MARY UNIVERSITY OF LONDON, ROYAUME-UNI

REJOIGNEZ LE PREMIER PÔLE SCIENTIFIQUE DE LA PRESSE FRANÇAISE

SCIENCES ET AVENIR

LE MENSUEL



LE HORS-SÉRIE

UNE INFORMATION THÉMATIQUE
CLAIRE ET VIVANTE

Chaque trimestre, une thématique étudiée sous tous ses aspects, en compagnie des plus grands spécialistes.

19 PARUTIONS PAR AN

4,6 MILLIONS DE LECTEURS

2,6 MILLIONS DE SOCIO-NAUTES

2,7 MILLIONS DE VISITEURS SUR LE SITE

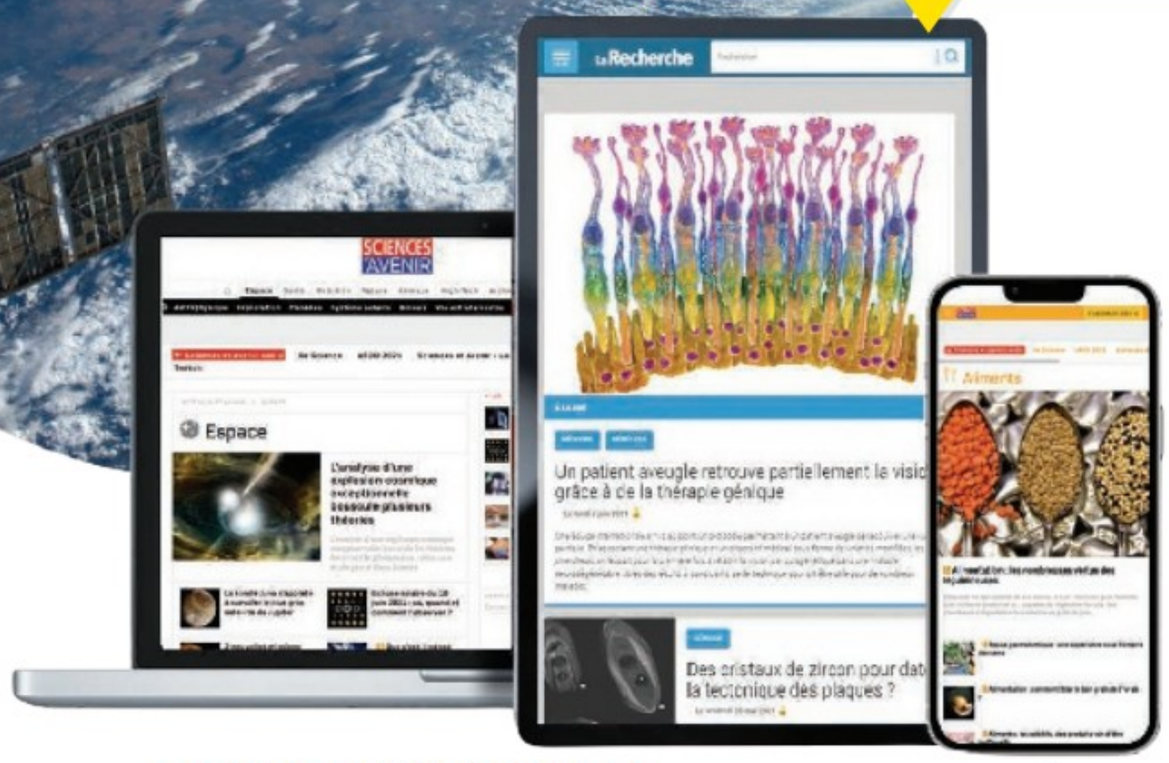
3 APPLICATIONS IOS/ANDROID

UNE VISION COMPLÈTE
DE LA SCIENCE

Chaque mois, toute l'actualité scientifique, dans un langage accessible.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur sciencesetavenir.fr

2 SITES POUR DES INFOS EXCLUSIVES



La Recherche

LE TRIMESTRIEL

LA RÉFÉRENCE
INCONTOURNABLE

Chaque trimestre, un panorama complet en 150 pages de la recherche scientifique.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur larecherche.fr

TOUTE L'ACTUALITE SCIENTIFIQUE QUOTIDIENNE

2 sites au service de l'actualité scientifique, de la plus accessible à la plus innovante. **Des articles quotidiens** pour être à la pointe de la science.

Vos questions en direct aux chercheurs sur notre chaîne Twitch https://www.twitch.tv/sciencesetavenir/

plus de 2 millions de fans !

plus de 303 000 followers

plus de 165 000 instagrammeurs

Plus de 67 000 abonnés professionnels

plus de 23 000 abonnés

PROMINT-SCAV2

IL A DIT

« Nous sommes dans un scénario où pratiquement toute vie a pu être anéantie dès les deux premières heures »

Brandon C. Johnson, planétologue à l'université Purdue (États-Unis). Son étude suggère que l'impact de l'astéroïde Chicxulub, à l'origine de l'extinction des dinosaures il y a 66 millions d'années, aurait formé un épais nuage de poussières emprisonnant la chaleur générée par les débris retombant sur Terre.

Des oiseaux miniatures âgés de 40 000 ans

PRÉHISTOIRE Sculptées dans de l'ivoire de mammouth, deux figurines d'oiseaux de seulement deux centimètres de long ont été découvertes par une équipe de l'université de Tubingen dans la grotte de Hohle Fels (Allemagne), classée au patrimoine mondial de l'Unesco. Datées de 40 000 ans environ, elles témoignent du raffinement atteint par l'art figuratif des premiers *Homo sapiens* installés en Europe. **H. J.**

RALF_EHMANN/URMU

Cette figurine mesure deux centimètres de long.

VESUVIUS CHALLENGE/COVER IMAGES/SIPA

Non consumés mais carbonisés par la chaleur, ces manuscrits se désagrègent au moindre contact.

Un rouleau d'Herculanum déchiffré

Grâce à des techniques d'imagerie et à l'IA, un papyrus carbonisé lors de l'éruption du Vésuve au Ier siècle a pu être lu de bout en bout.

Pour la première fois, un rouleau carbonisé de la villa des Papyrus d'Herculanum a été lu en intégralité sans être déroulé, en combinant microtomographie aux rayons X et intelligence artificielle. Jusqu'ici seuls quelques fragments de ces écrits antiques ensevelis lors de l'éruption du Vésuve en 79 apr. J.-C. avaient été décryptés *(lire* S. et A. *n° 928 p. 76)*. Cette fois, une équipe internationale a déchiffré les 22 colonnes de PHerc.1667, un document qui avait subi plusieurs tentatives ratées de lecture depuis sa mise au jour au XVIIIe siècle. Il s'agit d'un traité philosophique grec daté du IIe ou IIIe siècle av. J.-C. sur les thèmes de la raison et de la vertu : *« Nous chercherons à comprendre quelque chose, mais nous ne le saisirons pas si, d'une manière ou d'une autre, nous nous éloignons de nous-mêmes et de notre propre nature. »* Impossible toutefois de connaître l'auteur de ces lignes, les précédentes tentatives pour le dérouler ayant détruit une partie du manuscrit…

Les différentes couches du texte reconstituées

Ensevelis sous près de 18 mètres de cendres et de roches, ces quelque 1800 rouleaux constituent l'unique grande bibliothèque de l'Antiquité classique conservée jusqu'à nos jours. Carbonisés par la chaleur, mais non consumés, ces papyrus sont si fragiles qu'ils se désagrègent au moindre contact. Pour contourner l'obstacle, Brent Seales, spécialiste de l'imagerie informatique à l'université du Kentucky (États-Unis), a développé une méthode consistant à scanner les rouleaux au Synchrotron européen de Grenoble. Les images obtenues reconstituent les différentes couches du papyrus, qu'un algorithme « déroule » virtuellement pour faire apparaître les traces d'encre.

Pour la spécialiste Federica Nicolardi, de l'université de Naples Federico II (Italie), cette avancée *« bouleverse complètement la discipline »*. Les auteurs estiment que les centaines de documents encore fermés pourraient livrer des œuvres que l'on croyait perdues depuis deux millénaires. ■ **T. de B.**

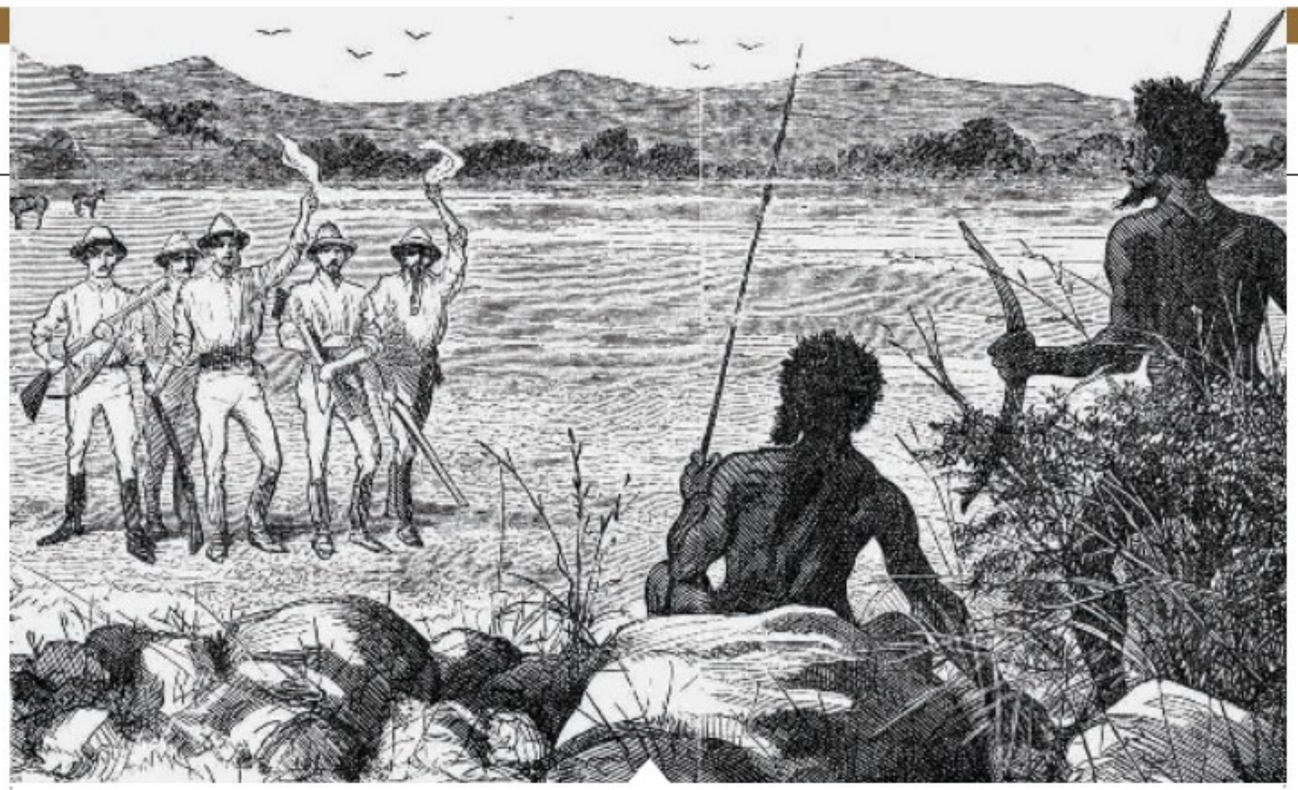
François Ier de Médicis n'est pas mort empoisonné

PALÉOGÉNÉTIQUE
Des analyses d'ADN ancien sur les restes du grand-duc de Médicis (1541-1587) confortent l'hypothèse d'une mort due à une forme sévère de paludisme, alors endémique en Italie, plutôt qu'à un empoisonnement à l'arsenic par son frère. Les chercheurs du Projet Médicis ont en effet identifié les séquences ADN de deux espèces parasitaires responsables de cette maladie : *Plasmodium falciparum* et *Plasmodium malariae.* **T. de B.**

SOURCE : ALEXANDER OCHOA, UNIVERSITÉ YALE, ÉTATS-UNIS

COLLECTION CHRISTOPHEL

Portrait, par Alessandro Allori (vers 1560).



LOOK AND LEARN/BRIDGEMAN IMAGES

La population aborigène comptait environ 2,3 millions de personnes en 1789.

Comment la variole est arrivée en Australie

Grâce à des modélisations des déplacements humains, des chercheurs ont identifié la source la plus probable de l'épidémie qui a décimé les Aborigènes en 1789.

Alors que l'origine de l'épidémie de variole survenue en Australie au XVIIIe siècle demeurait incertaine, une étude parue dans *Nature Human Behaviour* révèle que cette maladie mortelle ne peut avoir été transmise que par la « First Fleet », du nom donné aux 11 navires partis en 1787 fonder la première colonie sur l'île continent. Fondée sur des modélisations des déplacements humains, la reconstitution démontre qu'aucun itinéraire plausible n'aurait permis à la maladie de gagner Sydney à temps pour déclencher l'épidémie. La contamination proviendrait d'échantillons biologiques transportés par les médecins de la marine à des fins de variolisation (ancêtre du vaccin). Contrairement à l'image d'un continent quasi désertique, peuplé de 200 000 à 800 000 habitants selon des estimations antérieures, la population aborigène comptait environ 2,3 millions de personnes. Dont 220 000 seraient mortes. **T. de B.**

L'histoire de la soie revisitée

ARCHÉOLOGIE
Découverts en Ouzbékistan, trois cocons de *Bombyx mori* vieux d'environ 4000 ans montrent que l'élevage du ver était pratiqué en Asie centrale près de deux millénaires avant la route de la soie. La présence sur le même site d'un tissu de soie et de bois de mûrier, dont les feuilles nourrissent les vers, renforce l'hypothèse d'une sériciculture locale. **H. J.**

SOURCE : XINYING ZHOU, ACADÉMIE CHINOISE DES SCIENCES

La sécheresse révèle un mammouth

PALÉONTOLOGIE
Les ossements d'un mammouth laineux ont été découverts cet été en Bulgarie, alors que le Danube avait atteint un niveau très bas.
Ces restes comprennent une mandibule, des fragments de défenses, une partie d'omoplate ainsi qu'un fémur semblant provenir d'un jeune spécimen ayant vécu lors de la dernière période glaciaire. **T. de B.**

Les plages du Débarquement classées par l'Unesco

PATRIMOINE Plus de 80 kilomètres de plages situées dans la Manche et le Calvados sont entrées au Patrimoine mondial de l'Unesco, en souvenir de leur « rôle décisif dans la libération de l'Europe occidentale de l'occupation nazie ». Par la même occasion, les forteresses royales du Languedoc, connues par ailleurs sous le nom de « châteaux cathares » *(lire* Sciences et Avenir *n °953-954),* ont aussi obtenu ce précieux label, qui engage l'État à œuvrer pour leur préservation. **T. de B.**

STEPHANE COMPOINT / ONLYFRANCE.FR

ANTOINE MOREAU DUSAULT POUR SCIENCES ET AVENIR

Des algorithmes pour penser le monde réel

D'après certains spécialistes, les modèles de langage ne permettent d'obtenir que des intelligences limitées. La solution pourrait venir des « world models », des IA capables de comprendre les lois du monde physique et d'agir en fonction.

Après les grands modèles de langage (LLM), l'IA basculerait-elle dans une nouvelle tendance ? À son départ de Meta, fin 2025, où il dirigeait le laboratoire d'IA, Yann Le Cun lançait la start-up AMI Labs, spécialisée dans les « world models » (WM) ou « modèles du monde ». Autre figure éminente de l'apprentissage profond, l'Américaine Fei-Fei Li a monté World Labs dès 2024. Début 2026, DeepMind, la division IA de Google, dévoilait son world model Genie. En mai dernier, les laboratoires Kyutai (France) et ELLIS Institute Tübingen (Allemagne) ont créé KE:SAI, un centre de recherche dédié à ces modèles. Six mois plus tôt, Kyutai s'associait à la start-up suisse General Intuition sur ce thème.

Les modèles du monde sont conçus pour acquérir une connaissance des lois physiques qui régissent le monde réel (d'où leur nom), le sens de l'espace et du temps, la prise en compte des textures et des points de vue. L'enjeu ? Prédire à partir d'une action en cours non seulement l'action suivante, mais aussi une chaîne de conséquences. Ce dont sont incapables les LLM : leur « connaissance » du monde vient du texte. Les WM, eux, sont entraînés sur des vidéos, du son, des signaux radars ou lidar, mais aussi sur des décisions ou actions prises par des opérateurs humains lors du pilotage d'une voiture, un drone, etc. Des corpus qu'on ne collecte pas comme on engrange tout Internet pour les LLM. Une source reste assez facile d'accès : les jeux vidéo. *« On y trouve une certaine complexité, et cela permet de tester un grand nombre de choses,* signale Alexandre Défossez, cofondateur de Kyutai. *En tout cas, si on n'arrive pas à faire un world model issu d'un jeu vidéo, on aura du mal à en faire un à partir de la réalité. »*

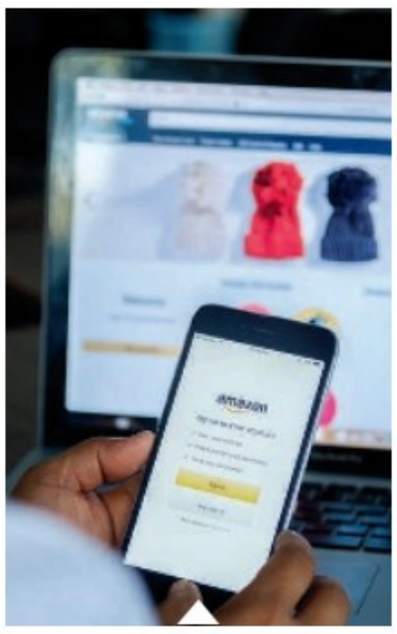
POUR EN SAVOIR PLUS

▸ Yann Le Cun (AMI Labs) et Pim de Witte (General Intuition) lors de la conférence AI Pulse 2025 : **urlr.me/8tjfvT**

Simuler l'intuition physique des humains

Ce concept remonte, en fait, aux années 1990. *« S'il connaît un regain d'intérêt, c'est que l'IA générative fonctionne bien,* estime Alexandre Défossez. *On se met donc à envisager d'autres briques techniques pour permettre à des entités physiques d'évoluer dans le monde réel de manière autonome, de faire de la planification à long terme, d'interagir avec l'utilisateur. »* Car ces algorithmes sont destinés à des robots, voitures autonomes, drones, machines industrielles, etc. avec l'idée de simuler cette intuition physique propre aux humains. *« Aucun robot n'apprend à conduire en quelques dizaines d'heures de pratique, comme n'importe quel adolescent. De toute évidence, quelque chose d'important nous échappe »,* déclarait Yann Le Cun à AI Pulse Paris, fin 2025.

Le laboratoire KE:SAI va justement travailler sur la voiture autonome. Pas seulement en dotant des véhicules de WM, mais en utilisant ces derniers pour créer des simulateurs capables de prédire la situation d'une voiture, ce que verront les capteurs, en fonction des commandes activées. En somme, simuler un environnement pour mieux, sur le terrain, simuler l'intelligence physique. ■ **Arnaud Devillard**



SHUTTERSTOCK

L'IA intégrée crée des produits virtuels pour affiner une recherche.

Amazon vous montre ce qu'il ne vend pas

E-COMMERCE Initiative a priori aberrante pour un commerçant, l'appli mobile d'Amazon propose à ses utilisateurs de chercher des produits… qui n'existent pas. Elle permet de décrire dans le moteur des vêtements qui lui plaisent (couleur, textile), et l'IA intégrée répond avec des images de synthèse fidèles à la requête. Selon Amazon, c'est un moyen d'aider à affiner une recherche, en faisant des suggestions qui pointeront ensuite vers de vrais produits.

De 87 à 98 GWh d'électricité par an pourraient être économisés

si les utilisateurs de chatbots rédigeaient des prompts plus concis, sans « Merci », « S'il te plaît » et autres formules inutiles dans une interaction avec une IA, selon un rapport sur les data centers publié par l'Institut pour l'eau, l'environnement et la santé (Canada) de l'université des Nations unies. ***« L'équivalent de la consommation annuelle d'électricité de 760 000 personnes en Afrique subsaharienne »,*** **d'après le document.**

JEFF CHIU/AP/SIPA

Ces montures connectées seront lancées à l'automne 2026.

De l'intelligence dans des lunettes

TECHNOLOGIE Après les lunettes connectées de Meta et Ray-Ban, Google et Samsung lancent les leurs cet automne. Avec les marques Warby Parker et Gentle Monster, ils proposent des montures reliées à un smartphone Android, dotées de haut-parleurs, micro, appareil photo et de Gemini, l'agent conversationnel de Google. Loin de la lourdeur de feu les Google Glass, l'accessoire ne laisse rien voir de toute cette technologie. D'où, justement, un appel de la Cnil à la vigilance face à de possibles collectes d'informations (photos, sons) qu'un utilisateur peut faire à l'insu de son entourage.

BRUNO LÉVY

LA CHRONIQUE DE
JEAN-GABRIEL GANASCIA*

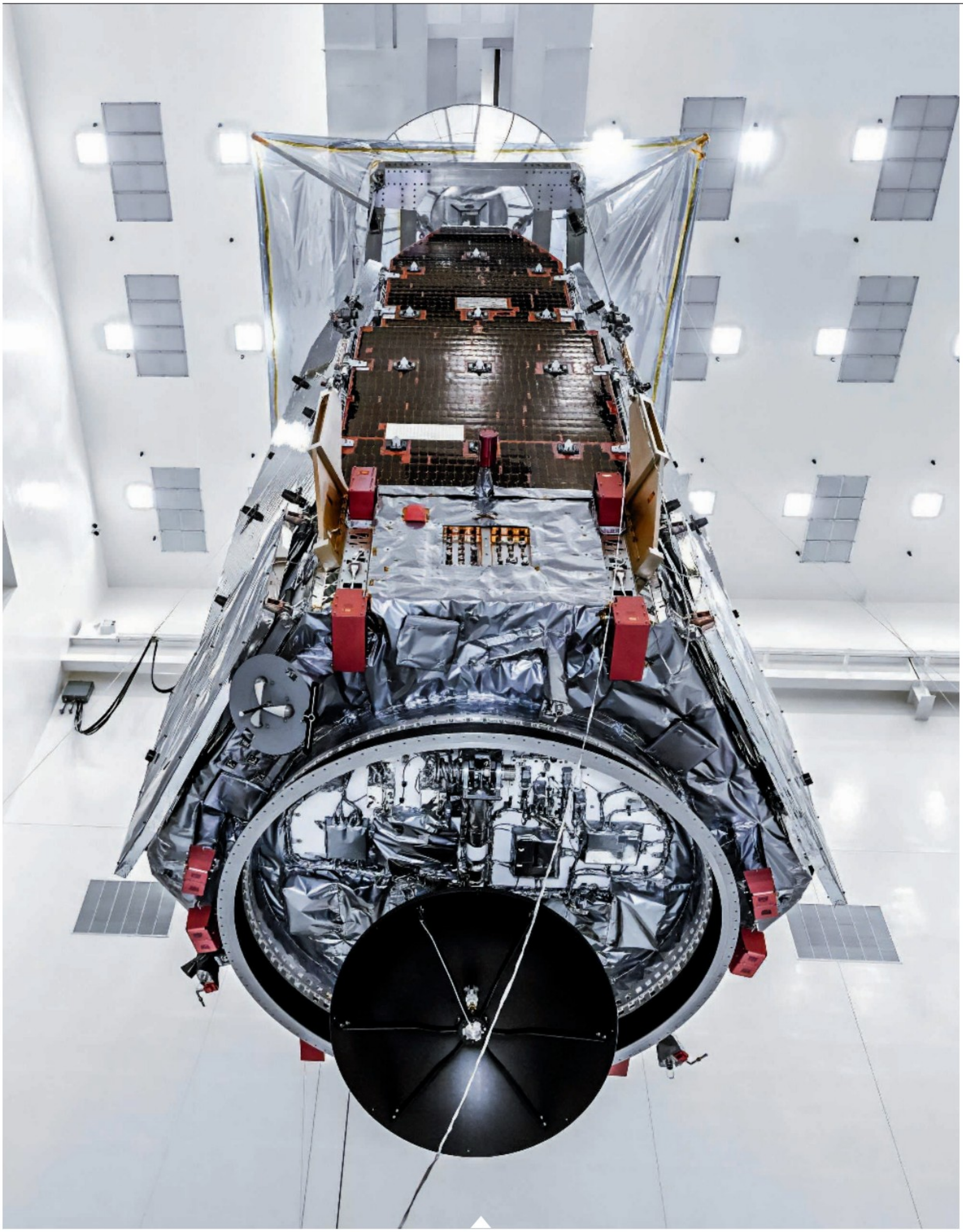
Ce que signifie « aligner les IA »

Pour éviter que les systèmes d'IA ne nous échappent et prennent seuls des décisions qui nous seraient contraires, on évoque de plus en plus souvent l'alignement sur des valeurs, solution idoine dit-on pour les humaniser. La société Anthropic s'en préoccupe ardemment. Elle se glorifie même d'avoir su l'intégrer à la programmation de ses agents artificiels, en concevant une IA dite « constitutionnelle » parce que respectueuse de règles morales. Le Premier ministre français en exercice, Sébastien Lecornu, s'en soucie lui aussi, au point d'avoir mandaté un sénateur, Vanina Paoli-Gagin, à la tête d'une mission chargée de lui remettre un rapport sur le sujet. Dans l'encyclique *Magnifica Humanitas* qu'il vient de publier, le pape Léon XIV le mentionne incidemment, tout en soulignant qu'avant de procéder à un alignement sur des valeurs, on devrait songer aux valeurs elles-mêmes, à leur caractère authentiquement moral et à ce que des sociétés privées n'en décident pas autoritairement pour tous.

Au-delà, rappelons que les valeurs sont admirables ; qu'à ce titre, elles méritent qu'on les respecte. Toutefois, chacune empiète sur d'autres, tout aussi admirables. La protection de la vie privée interfère avec la transparence. L'une et l'autre interfèrent avec l'exigence de sécurité. Or, toutes trois apparaissent légitimes.

La difficulté de l'éthique réside là, dans les arbitrages nécessaires, dans la préférence que l'on accorde à telle valeur, au détriment d'autres. La responsabilité humaine tient à ces choix. Les automatiser, en alignant les agents artificiels dessus, revient à nier la responsabilité individuelle, en ôtant aux personnes leur liberté de choix, et donc la raison d'être de l'éthique. ■

* **Professeur à Sorbonne Université,** à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : *L'I.A. expliquée aux humains*, Seuil, 2024.



NASA

Presque aussi long qu'un semi-remorque, le télescope Roman est préparé dans une « salle blanche » de la Nasa avant son lancement vers le point de Lagrange L2, où il observera l'Univers profond.

Télescope

Nancy Grace Roman, le paparazzi de l'espace

Après James-Webb et Euclid, un nouvel observatoire spatial s'apprête à décoller. Grâce à son miroir de 2,4 mètres, sa caméra géante et son immense champ de vision, Roman promet une moisson de données sans précédent, susceptible de bouleverser notre compréhension de l'énergie noire.

Par Franck Daninos

Des dizaines de milliards d'étoiles, des centaines de millions de galaxies, jusqu'à 100 000 nouvelles planètes extrasolaires et, peut-être, un commencement de réponse à l'une des plus grandes énigmes de la cosmologie : la nature de l'énergie noire, cette composante invisible qui accélère l'expansion du cosmos. Telle est l'ambition vertigineuse du télescope Nancy Grace Roman, nouveau fleuron de la Nasa pour l'exploration de l'Univers. Après dix ans de construction et plus de quatre milliards de dollars investis, l'observatoire est prêt à s'envoler dans l'espace. Son lancement est prévu le 30 août depuis la Floride, à bord d'une fusée SpaceX, pour rejoindre, après environ un mois de voyage, le point de Lagrange L2 à 1,5 million de kilomètres de la Terre.

Depuis ce promontoire spatial où les rayonnements parasites du Soleil, de la Terre et de la Lune seront toujours dans son dos, ce télescope presque aussi long qu'un semi-remorque scrutera le ciel profond avec des capacités inédites. Son miroir de 2,4 mètres de diamètre est aussi large que celui de Hubble — le doyen des télescopes spatiaux, en service depuis 1990, qui a bouleversé notre représentation du cosmos en précisant l'âge de l'Univers, en détectant des tempêtes colossales sur Jupiter et Saturne ou en révélant que les grandes galaxies abritent en leur cœur des trous noirs supermassifs.

Mais la force de Roman tient à son gigantesque champ de vision. Son instrument principal, le Wide Field Instrument, réunit en effet 18 détecteurs infrarouges formant une caméra géante de 300 millions de pixels. De quoi observer, avec une précision com-

parable à celle de Hubble, des portions de ciel 100 fois plus importantes ! *« Les images que Roman capturera seront si grandes qu'aucun écran existant ne sera assez vaste pour les afficher,* s'est émerveillé Jared Isaacman, le patron de la Nasa, lors d'une présentation à la presse en avril. *Ce que Hubble met-trait 2000 ans à traiter, Roman pourra le faire en un an. »*

Une énergie noire constante ou variable dans le temps

Sa mission prioritaire sera ainsi *« de contribuer à lever le voile sur la nature de l'énergie noire »,* pose Martin Kilbinger, de l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'univers du CEA (Saclay). Cette mystérieuse forme d'énergie a été découverte en 1998 par deux équipes d'astronomes qui cherchaient à mesurer le rythme d'expansion de l'Univers depuis sa naissance, il y a 13,8 milliards d'années. Elles s'appuient alors sur les supernovae de type Ia, explosions stellaires dont la luminosité bien calibrée permet d'estimer les distances. Grâce à ces « chandelles standards », les chercheurs s'attendent à voir l'expansion ralentir sous l'effet de l'attraction gravitationnelle. Surprise : ces supernovae situées à des milliards d'années-lumière révèlent l'inverse. Non seulement l'Univers continue de se dilater, mais son expansion s'accélère. Une découverte majeure, qui impose l'existence d'une composante inconnue, bientôt baptisée « énergie noire ».

Les observations indiquent, aujourd'hui, qu'elle représente 68 % du contenu énergétique de l'Univers. Mais quelle est donc cette composante majoritaire du cosmos qui n'émet ni n'absorbe aucune lumière et pousse les étoiles à s'éloigner les unes des autres, en s'opposant à la force de gravitation ? *« Les suppositions abondent depuis une trentaine d'années »,* rappelle Éric Jullo, du Laboratoire d'astrophysique de Marseille. L'explication favorite était celle d'une constante cosmologique, immuable dans le temps, qui correspondrait à une propriété de l'espace lui-même. *« Dans le cadre de la relativité générale d'Einstein, qui constitue notre théorie de la gravitation la plus solide, cette constante jouerait le rôle d'un moteur répulsif, expliquant l'expansion accélérée de l'Univers »,* résume-t-il.

Mais d'autres pistes restent ouvertes. Dans les modèles dits de quintessence, l'énergie noire prendrait la forme d'un champ dynamique, lié à des particules encore inconnues, dont l'intensité évoluerait au fil du temps. Une troisième voie va plus loin : et si l'accélération cosmique révélait non pas une nouvelle composante de l'Univers, mais les limites de notre théorie de la gravitation ? Il faudrait alors corriger ou prolonger la relativité générale aux plus grandes échelles.

Pour trancher, les astronomes misent sur une nouvelle génération d'instruments. Dans l'espace, Roman rejoindra ainsi son cousin européen Euclid, lancé en 2023, pour cartographier l'Univers dans l'infrarouge. Au sol, l'observatoire Vera-Rubin, au Chili, opérationnel depuis 2025, et l'instrument Desi, installé en Arizona en 2021, complètent ce dispositif dans le visible. Loin de se concurrencer, cette flottille de télescopes fonctionne de manière complémentaire. *« Ils n'observent pas l'Univers dans les mêmes longueurs d'onde ni selon les mêmes méthodes. C'est en combinant toutes leurs données que nous pourrons reconstituer l'histoire de l'expansion de l'Univers et comprendre la nature de l'énergie noire »,* espère Martin Kilbinger.

En mai, les 900 chercheurs de la collaboration Desi livraient déjà des résultats spectaculaires. Ils ont passé au crible la répartition 3D de 14 millions de galaxies afin d'y retrouver la trace des oscillations acoustiques baryoniques, ces ondulations fossiles laissées dans la matière par le jeune Univers. Utilisées comme étalons de distance à différentes époques, elles racontent l'histoire de l'expansion cosmique. Or cette histoire semble dévier du scénario attendu : l'énergie noire aurait été plus intense dans le passé, lorsque l'Univers avait environ 9 milliards d'années, avant

4,3
milliards de dollars
Son coût.

12,7 mètres
Sa longueur.

4 166 kg
Sa masse au lancement.

300 mégapixels
La résolution de sa caméra principale.

NASA

NANCY GRACE ROMAN

La « mère de Hubble »

C'est pour rendre hommage à Nancy Grace Roman, l'une des pionnières de l'astronomie spatiale américaine disparue en 2018, que la Nasa a donné son nom à son nouveau télescope. Astronome formée à l'université de Chicago, spécialiste des étoiles et de la structure de la Voie lactée, elle rejoint la jeune Nasa en 1959. Elle devient, dès 1961, la responsable de son département d'astronomie, à une époque où l'accès des femmes aux postes de direction reste encore très limité. Visionnaire, Nancy Grace Roman défend l'idée que les télescopes doivent s'affranchir de l'atmosphère terrestre pour révéler pleinement l'Univers. Elle joue alors un rôle décisif dans la conception et le financement du télescope spatial Hubble dans les années 1970 et 1980, ce qui lui vaudra le surnom de « mère de Hubble ».

INSTRUMENTS

Une constellation de télescopes

HUBBLE
(1990)
Conçu par la Nasa avec la participation de l'Agence spatiale européenne.
Localisation : orbite terrestre à environ 500 km d'altitude.
Longueurs d'onde : de l'ultraviolet au proche infrarouge.
Mission : observatoire généraliste.

KEPLER
(2009-2018)
Conçu par la Nasa.
Localisation : orbite héliocentrique, légèrement derrière la Terre.
Longueurs d'onde : surtout dans le visible.
Mission : détection d'exoplanètes.

JAMES-WEBB
(2022)
Conçu par la Nasa avec les agences spatiales européenne et canadienne.
Localisation : point de Lagrange L2 à 1,5 million de km.
Longueurs d'onde : du rouge visible au moyen infrarouge.
Mission : observatoire généraliste dans l'infrarouge.

EUCLID
(2023)
Conçu par l'Agence spatiale européenne.
Localisation : point de Lagrange L2 à 1,5 million de km.
Longueurs d'onde : du visible vert-rouge au proche infrarouge.
Mission : comprendre la nature de l'énergie noire.

ROMAN
OPÉRATIONNEL FIN 2026
Conçu par la Nasa.
Localisation : point de Lagrange L2 à 1,5 million de km.
Longueurs d'onde : du visible au proche infrarouge.
Mission : étude de l'énergie noire et détection d'exoplanètes.

de décroître. Elle ne serait donc peut-être pas constante… mais variable dans le temps ! *(lire* S. et A. *n° 952).*
L'affaire est toutefois loin d'être tranchée. *« Les résultats sont convaincants mais il faut rester prudent »,* avertit Éric Jullo. Car les résultats de Desi ne sont encore que des indices : des frémissements statistiques qu'il faut confirmer par d'autres relevés du ciel. C'est là que Roman entre en scène. *« Il réunit plusieurs éléments qui n'ont jamais été combinés dans l'espace, notamment des observations infrarouges couplées à un gigantesque champ de vision »,* relève Martin Kilbinger. Fort de ces atouts, le télescope s'appuiera sur trois méthodes différentes pour retracer l'expansion de l'Univers. Comme Desi, il dressera des cartes tridimensionnelles d'environ 10 millions de galaxies afin d'y traquer les oscillations acoustiques baryoniques, mais sur une période encore mal couverte : entre 3 et 6 milliards d'années après le Big Bang. Roman détectera également près de 30 000 supernovae de type Ia, dix fois plus que les meilleurs échantillons actuels.

4 millions de milliards d'octets de données annuelles

Enfin, il utilisera les lentilles gravitationnelles faibles, ces infimes distorsions imprimées dans l'image de centaines de millions de galaxies, pour reconstituer la croissance des structures cosmiques et ce faisant le rythme de l'expansion. *« Pour sonder l'énergie noire, ce qui compte le plus, c'est la statistique et la quantité d'objets astronomiques observés »,* signale Éric Jullo. Or, Roman livrera 4 millions de milliards d'octets de données annuelles ! Il jouera ainsi un rôle déterminant pour confirmer ou écarter les indices de Desi et percer enfin les secrets de l'énergie noire.
L'autre terrain où les yeux écarquillés de Roman provoqueront un bond spectaculaire est la chasse aux exoplanètes. Depuis le milieu des années 1990, les astronomes en ont découvert plus de 6000. Les premières moissons sont venues de la méthode des vitesses radiales, qui traque le minuscule mouvement de va-et-vient imposé à une étoile par une planète en orbite. Ce balancement se lit dans la lumière de l'astre : ses raies spectrales se décalent très légèrement vers le bleu lorsqu'il se rapproche de nous, puis vers le rouge lorsqu'il s'en éloigne. En mesurant ces variations périodiques, *« les astronomes ont identifié près de 1200 spécimens »,*

NASA/ESA/ASG/ALAMY/HEMIS

rappelle Jean-Philippe Beaulieu, de l'Institut d'astrophysique de Paris.
Une seconde approche, devenue dominante au début des années 2010, a transformé le domaine : la méthode des transits. Elle détecte les exoplanètes par leur ombre. Lorsque celles-ci passent devant leur étoile, elles en atténuent imperceptiblement l'éclat, un clignement qui trahit leur présence et permet d'en mesurer le rayon. Près des trois quarts des exoplanètes connues ont été repérées de cette manière, notamment grâce au télescope Kepler (en service jusqu'en 2018). *« Ces planètes peuvent avoir des tailles très différentes, mais ont un point commun : elles orbitent toutes très près de leur étoile, condition indispensable pour que ces deux méthodes fonctionnent »,* souligne Jean-Philippe Beaulieu. Il s'agit donc, le plus souvent, de mondes brûlants, parfois plus proches de leur étoile que Mercure ne l'est du Soleil, où les températures atteignent des centaines, voire des milliers de degrés.

Les microlentilles, un nouveau regard sur les exoplanètes

C'est sur ce front que Roman promet d'être révolutionnaire. Ses relevés, aussi immenses que précis, permettront de détecter plus de 70 000 exoplanètes par la méthode des transits. Mais, surtout, il ouvrira une fenêtre sur des catégories encore très mal connues de planètes : *« Froides cette fois, et situées beaucoup plus loin de leur étoile, à des distances comparables à celles de Mars, Jupiter ou Saturne dans notre propre Système solaire,* anticipe Jean-Philippe Beaulieu. *Et même des planètes errantes, arrachées à leur système d'origine, voyageant seules dans la nuit galactique. »*
Pour les débusquer, Roman s'appuiera sur la technique des microlentilles gravitationnelles. Lorsqu'une étoile passe devant une étoile plus lointaine, sa gravité agit comme une loupe et amplifie brièvement la lumière de l'astre d'arrière-plan. Si une planète orbite autour de l'étoile-lentille, elle ajoute une petite perturbation au signal lumineux. C'est cette anomalie qu'il cherchera à repérer en surveillant des centaines de millions d'étoiles, vers le centre de la Voie lactée. *« C'est exactement la machine dont nous avons besoin pour détecter ces planètes froides ou vagabondes, peut-être 3000 selon nos estimations, et obtenir une vision plus complète des systèmes planétaires de la galaxie »,* se réjouit l'astrophysicien. De l'énergie noire à la diversité des mondes lointains, le successeur de Hubble promet ainsi de renouveler notre lecture du cosmos. ■

CORONOGRAPHE

Masquer les étoiles pour révéler les planètes

NASA/JPL-CALTECH

Le coronographe en phase de tests au Jet Propulsion Laboratory (Californie).

En plus de sa caméra géante infrarouge, Roman embarque un instrument expérimental : un coronographe dont *« la forme et la taille correspondent à celles d'un petit piano à queue »,* détaille la Nasa. Son rôle : masquer la lumière aveuglante d'une étoile afin de révéler l'éclat infime d'une planète voisine. Un défi extrême qui revient à distinguer une luciole à côté d'un phare ! Conçu par la Nasa avec des laboratoires allemands, japonais et le Laboratoire d'astrophysique de Marseille, ce coronographe sera 100 à 1000 fois plus performant que ceux déjà envoyés dans l'espace. *« La lumière venant de l'étoile sera atténuée d'un facteur de plus de 100 millions afin de révéler celle de la planète »,* s'enthousiasme l'astrophysicien Jean-Philippe Beaulieu. Pour y parvenir, l'engin combine un ensemble de filtres optiques, de détecteurs ultrasensibles et de miroirs déformables corrigeant en temps réel les défauts de l'image. *« Il ne s'agit encore que d'un démonstrateur »,* précise le chercheur. Roman n'observera directement qu'une poignée de planètes comparables à Jupiter, mais ouvrira la voie aux futurs instruments qui, *« en gagnant encore un facteur dix dans la qualité des optiques »,* permettront d'ici une quinzaine d'années d'imager des planètes rocheuses et tempérées semblables à la Terre.

AP/MICHAEL DWYER/SIPA

Le maître de cérémonie Marc Abrahams brandit le prix Ig-Nobel 2016 lors de la cérémonie qui s'est déroulée à l'université de Harvard.

Les Ig-Nobel, la science par le rire

Cheveux en spirale, grenouilles en lévitation… Depuis trente-cinq ans, cette parodie des prix Nobel, née aux États-Unis, récompense des recherches loufoques mais brillantes. Aujourd'hui, elle migre en Suisse. Explications.

Une pluie d'avions en papier, un mini-opéra satirique, des enfants qui donnent le tempo : la remise des prix Ig-Nobel cultive l'humour avec méthode, en prenant à revers la très sérieuse cérémonie des prix Nobel. C'est là toute la mission de ces « ignobles » Nobel, *« récompenser les travaux qui font d'abord rire les gens, puis les font réfléchir »*. De sorte que les lauréats peuvent être séparés en deux catégories : d'une part, des mesures politiques absurdes ou des fraudes scientifiques et, d'autre part, des publications robustes dont le sujet semble anecdotique.

Créés en 1991 par Marc Abrahams, cofondateur de la revue *Annals of Improbable Research,* ces prix continuent de surprendre par leur originalité. *« Enfant déjà, je traquais les anecdotes scientifiques amusantes, que je partageais avec mes amis. Après des études de mathématiques appliquées à Harvard, je suis devenu journaliste, avec une idée en tête : déconstruire l'image du scientifique dénué d'humour. Je souhaitais rendre la science plus accessible, plus*

attrayante. » Un objectif qui, depuis trente-cinq ans, reste inchangé. Au fil des éditions, les Ig-Nobel sont devenus une institution dans la communauté scientifique, acquérant une renommée mondiale. Mais cette année, pour la première fois, la cérémonie quitte le Massachusetts (États-Unis) pour la Suisse — conséquence directe des restrictions imposées aux scientifiques par l'administration Trump. En effet, en 2025, quatre des dix lauréats primés ont renoncé à assister à la cérémonie des Ig-Nobel, par peur d'être inquiétés par les autorités américaines. *« Nous ne pouvons pas, en toute bonne conscience, demander aux nouveaux lauréats, et aux journalistes couvrant l'événement, de se rendre à Boston cette année »,* constate Marc Abrahams.

« Un accueil favorable de la part des chercheurs »

« Bien qu'en France, ces prix soient peu connus, ils sont très prestigieux dans de nombreux pays. Au Japon, par exemple, la cérémonie est rediffusée sur la télévision nationale et bénéficie d'une grande audience », pointe le professeur de chirurgie maxillo-faciale Roman Hossein Khonsari, lauréat de l'Ig-Nobel d'anatomie en 2024. Les travaux qui lui ont valu ce prix portent sur les facteurs influençant l'implantation des cheveux, et, plus précisément, sur l'effet de l'hémisphère géographique de naissance sur le sens de rotation en spirales. Avec la généticienne Marjolaine Willems, ils ont montré que dans l'hémisphère nord, les spirales capillaires dans le sens antihoraire sont très rares, tandis que dans l'hémisphère sud, elles sont bien plus fréquentes. *« Nous ne savons pas encore l'expliquer, sinon nous aurions peut-être reçu le prix Nobel »*, s'amuse Roman Hossein Khonsari. Pourtant, aussi anecdotique que semble ce sujet, sa portée est vaste. *« Dans le domaine de la morphogenèse, les motifs géométriques — comme les empreintes digitales — sont porteurs de nombreuses informations. Mais leur formation demeure mal comprise. En tant que chirurgien maxillo-facial, je me suis spontanément intéressé aux structures des cheveux. »*

10
Le nombre de prix
décernés chaque année, soit 350 distinctions depuis 1991, date de création des Ig-Nobel.

Et Marc Abrahams de répondre aux critiques fréquentes sur le temps et l'argent gaspillés pour des découvertes a priori peu pertinentes : *« De nombreux travaux qui semblent futiles à première vue offrent, en réalité, des réponses pertinentes pour mieux décrire le monde qui nous entoure. Un même sujet peut être abordé de multiples façons : en exagérant certains aspects et les présentant comme absurdes, ou avec rationalité en illustrant les perspectives qui en découlent. »*

C'est également le cas des travaux de Julie Mennella, lauréate de l'année 2025. *« Nous avons reçu l'Ig-Nobel de pédiatrie pour avoir découvert que lorsqu'une mère mange de l'ail, son bébé tète plus longtemps. Nos travaux ouvrent des perspectives quant à l'habituation précoce aux saveurs et l'apparition de préférences alimentaires, notamment le goût pour le sucre »*, relève la neuroscientifique américaine.

L'intérêt sous-jacent de ces recherches explique la bonne réception de ces récompenses auprès de la communauté scientifique. *« Tous les lauréats contactés sont libres d'accepter ou de refuser le prix. Or la quasi-totalité l'accepte, ce qui témoigne d'un accueil favorable de la part des chercheurs »,* déclare Marc Abrahams. Il cite en exemple le physicien britannique Andre Geim, lauréat à la fois d'un Ig-Nobel et d'un Nobel : le premier pour avoir fait léviter une grenouille à l'aide d'aimants ; et le second pour ses travaux sur la structure cristalline du carbone, le graphène. *« Nous faisons de la vraie science, selon des protocoles scientifiques, et nos travaux sont relus par nos pairs »,* justifie Julie Mennella. *« Ces récompenses n'ont donc pas entaché notre crédibilité ; au contraire elles nous ont amenés à des échanges passionnants lors de congrès. »*

Reste qu'une partie des lauréats ont obtenu ce prix au titre de mesures politiques absurdes ou de fraudes scientifiques. On peut ainsi citer Jacques Chirac, distingué par l'Ig-Nobel de la paix en 1996, pour avoir marqué le 50e anniversaire des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki en relançant les essais

AP /CHARLES KRUPA/SIPA

En 2015, David Hu reçoit l'Ig-Nobel de physique pour ses recherches sur le principe selon lequel tous les mammifères vident leur vessie en environ 21 secondes.

nucléaires dans le Pacifique, ou encore Jacques Benveniste, double Ig-Nobel de Chimie en 1998, pour sa théorie de la mémoire de l'eau, puis pour avoir affirmé que les propriétés de l'eau pouvaient se transmettre via des vecteurs ondulatoires d'Internet.

Plus de 9000 propositions de nomination reçues par an

Au-delà du cercle des initiés, les Ig-Nobel ont pour ambition de toucher le grand public. *« La science a souvent tendance à s'exprimer dans un langage hermétique et à recourir à du vocabulaire complexe, ce qui décourage tout un chacun de s'y intéresser,* souligne Marc Abrahams. *Une grande partie de notre travail consiste justement à utiliser des mots simples pour décrire ces faits.* » À partir de plus de 9000 propositions de nomination reçues par an, au bureau des A*nnals of Improbable Research* (et envoyées par tout un chacun), le processus de sélection est désormais bien rodé. Un comité d'étudiants, journalistes, enseignants et chercheurs (le Bureau des gouverneurs Ig-Nobel) est chargé de trancher entre les différentes propositions. Une mission difficile, dans la mesure où les critères retenus, l'humour et l'excentricité, sont particulièrement subjectifs. Après de nombreux débats, la tradition veut qu'un passant au hasard soit invité à participer au choix final.

Ainsi, les travaux primés trouvent souvent un écho dans des préoccupations de la vie quotidienne. En témoigne l'édition 2025, pour laquelle le prix de littérature a été attribué à titre posthume à William Bean, qui a mesuré… la croissance de l'un de ses ongles pendant trente-cinq ans. D'ailleurs, les catégories des prix changent chaque année et sont définies en fonction des travaux choisis. Ouverte à tous, la cérémonie constitue un espace de rencontre privilégié entre chercheurs et citoyens. Faute de pouvoir le faire de façon sereine aux États-Unis, les Ig-Nobel posent donc leurs valises en Suisse, *« berceau de belles inventions comme la physique d'Albert Einstein, l'économie mondiale et le coucou »*, mais également *« zone plus favorable à la recherche et à l'éducation »*.

La 36e édition se déroulera à Zurich, en collaboration avec les Écoles polytechniques fédérales et l'université de Zurich. *« Nous continuerons à célébrer la science et à la faire rayonner aux quatre coins du monde »*, conclut Julie Mennella. La cérémonie s'y tiendra ensuite un an sur deux, et devrait changer de ville l'année suivante. Plusieurs cités européennes se sont déjà portées candidates pour accueillir l'événement. ■ **Thaïs de Bastard**

PALMARÈS

Des lauréats français notables

Basile Audoly et Sébastien Neukirch, Ig-Nobel de physique en 2006 : pour leurs recherches sur les spaghettis secs, qui se cassent généralement en plus de deux morceaux. En étudiant ce mécanisme de rupture en chaîne, ces chercheurs de l'université Pierre-et-Marie-Curie (Paris) ont permis d'éclaircir le principe de propagation d'ondes de flexion et leurs travaux ont apporté de nouvelles connaissances en matière de résistance des matériaux filiformes (poutres, fibres optiques, …).

Pavlo Blavatskyy, Ig-Nobel d'économie en 2021 : pour avoir brillamment démontré que l'obésité des politiciens peut être un bon indicateur du niveau de corruption d'un pays. À l'aide de 299 photos de ministres en poste dans 15 pays post-soviétiques, ce professeur à la Montpellier Business School a estimé l'IMC des individus et l'a relié à l'indice de perception de la corruption de la Banque mondiale. Il a ainsi montré une forte corrélation entre le poids et la corruption politique, notamment à l'échelle locale.

Chris Moulin et son équipe, Ig-Nobel de littérature en 2023 : pour avoir étudié les sensations que les gens éprouvent lorsqu'ils répètent un seul mot. Ces scientifiques ont mené une expérience d'« aliénation des mots », consistant à recopier des mots de manière répétée jusqu'à ce que les participants ressentent quelque chose de « bizarre ». Ils ont ainsi montré que la connaissance factuelle du mot reste intacte tandis que le sentiment de familiarité disparaît, ce qui illustre une distinction cognitive entre le « savoir » et le « ressenti familier ».

UNIV. DE CHICAGO

« Nous faisons de la vraie science, selon des protocoles scientifiques, et nos travaux sont relus par nos pairs »

Julie Mennella, neuroscientifique au Monell Chemical Senses Center à Philadelphie (États-Unis)

L'espace, nouvelle frontière des data centers

L'idée de bénéficier de l'énergie solaire en continu séduit industriels et États, à l'heure où l'IA fait exploser les besoins de calcul. Mais cette promesse repose sur des contraintes techniques et des coûts vertigineux, sans oublier les risques liés à la multiplication des satellites.

« *Sur Terre, on est limité en énergie. L'espace a l'avantage d'être toujours ensoleillé.* » Le 21 mars 2026, depuis une centrale électrique désaffectée à Austin, aux États-Unis, Elon Musk, fondateur de SpaceX, déclare que l'avenir des data centers sera dans l'espace, grâce à l'énergie solaire disponible de façon illimitée. Avec l'essor de l'intelligence artificielle générative, la consommation d'électricité des centres de données devrait passer de 485 térawattheures (TWh) en 2025, et à 950 TWh en 2030, soit un peu plus du double de la consommation électrique annuelle de l'Hexagone, selon les prévisions de l'Agence internationale de l'énergie.

Et quand Elon Musk a une idée en tête, elle se dessine rapidement. Le 8 juin 2026, quatre jours avant l'introduction en Bourse de SpaceX, une vidéo partagée sur X dévoile la première version du satellite AI-1. Conçu pour embarquer des capacités de calcul dédiées à l'IA, il est équipé de panneaux solaires à haut rendement (250 W/m^2), qui seront fabriqués à partir de la fin 2027 dans les usines de SpaceX, à Bastrop (États-Unis) et peut-être, à terme, depuis la Lune, selon le milliardaire.

La dimension de l'engin est impressionnante : une envergure de 75 m — occupée presque entièrement par les panneaux solaires, selon le visuel du constructeur — pour une hauteur de 20 m, à comparer avec la Station spatiale internationale et ses 109 m d'envergure. Le satellite produirait une puissance de calcul de 175 kW en moyenne constante, et de 250 kW en pic.

CONTEXTE

L'enquête pour cet article a été menée dans le cadre de Catapulte, un commun des connaissances sur le sujet des data centers, cofondé par Anne Tézenas du Montcel, journaliste spécialisée dans les enjeux climatiques, et Jacques Araszkiewiez, directeur de l'École de journalisme de Cannes et fondateur du laboratoire Transitions à l'université Nice Côte d'Azur. Il regroupe une trentaine d'enseignants-chercheurs, journalistes, étudiants et experts.

Des altitudes comprises entre 500 et 2000 kilomètres

Pour la communication et la transmission de données avec le sol, SpaceX mise sur des liaisons laser intersatellites (ISL) à très haut débit de Starlink. Car, plutôt que d'envoyer directement les données au sol et de risquer de perdre la liaison à cause des nuages, le satellite AI-1 se connectera à Starlink qui, à son tour, les transmettra à des stations terrestres. « *C'est un atout considérable de s'appuyer sur ce réseau qui existe déjà, à condition de ne pas le surcharger avec le trafic propre au data center orbital,* estime Didier Alary, qui a dirigé jusqu'en 2019 le département des systèmes spa-

SPACEX/DR

Le projet de satellite AI-1 (vue d'artiste) porté par SpaceX, et qui atteindrait près de 70 mètres d'envergure avec ses panneaux solaires déployés, serait positionné sur une orbite basse, entre 600 et 800 kilomètres d'altitude.

tiaux avancés d'Airbus Defence and Space. *Pour les autres concurrents, ce sera un point critique.* »

Car SpaceX, qui envisage de faire fonctionner des modèles d'IA avancés et les applications qui en dépendent, n'est pas seul à rêver de centres de données orbitaux : la Chine et plusieurs sociétés — dont la française Alatyr, les américaines Axiom, Blue Origin, Cowboy Space Corporation, Google, Phantom Space et Starcloud et l'émiratie Madari Space y travaillent également. La start-up Starcloud a ainsi pris une longueur d'avance : en novembre 2025, son premier satellite de 60 kg, équipé d'un GPU Nvidia H100, a effectué l'entraînement en orbite opérationnelle, à 325 kilomètres d'altitude, de NanoGPT, un grand modèle de langage (LLM) open source créé par un membre fondateur d'OpenAI, Andrej Karpathy, à s'exprimer dans un anglais shakespearien. Ce même satellite exécute et interroge aussi un LLM (Google Deepmind), appelé Gemma.

« L'idée d'envoyer des données terrestres en orbite pour y être traitées, puis de les renvoyer vers la Terre, n'est pas viable en raison des goulots d'étranglement inutiles causés par la bande passante limitée entre la Terre et l'espace, juge néanmoins Bill Ray, vice-président analyste émérite chez Gartner et auteur d'une note publiée en février 2026 sur les centres de données spatiaux. *À terme, cette technologie évoluera pour ne prendre en charge que les données produites dans l'espace et destinées à y être utilisées ».*

Mais pour Brandon Lucia, professeur d'ingénierie électrique et informatique à l'université Carnegie-Mellon (États-Unis), l'idée n'est pas *« irréaliste, mais il existe des défis technologiques à relever, comme celui de la dissipation thermique ».* Car dans l'espace comme au sol, quand les microprocesseurs chauffent trop, leurs performances s'écroulent. Or, afin de maximiser le fonctionnement des panneaux solaires, les satellites opéreront sur des orbites héliosynchrones (le plan orbital maintient une inclinai-

B. LUCIA

« Il existe des défis technologiques à relever, comme celui de la dissipation thermique »

Brandon Lucia, professeur d'ingénierie à l'université Carnegie-Mellon (États-Unis) et PD-G d'Efficient Computer

JURIDIQUE

Dans l'espace, qui est responsable ?

Comme pour tout objet spatial, le lancement d'un data center en orbite nécessitera l'autorisation d'un État. *« La seule condition, c'est qu'il ne doit pas gêner les objets déjà en orbite appartenant à d'autres États »*, signale Katia Coutant, doctorante en droit international public à l'université Paris Nanterre. Les lois qui s'y appliqueront seront celles de son État d'immatriculation, ou de son État de lancement. *« Si on a deux États différents, ces derniers peuvent s'accorder sur un seul État de rattachement pour éviter les conflits de droits »*, ajoute la juriste. Si une entreprise spatiale propose des services à destination de citoyens européens et traite leurs données personnelles, le RGPD européen devra-t-il s'appliquer ? En théorie oui, mais les États-Unis considèrent, par exemple, que leur droit national prévaut sur celui des autres. Enfin, *« si le data center cause un dommage sur Terre, c'est l'État de rattachement qui est tenu responsable. S'il y a une collision avec un débris spatial, on recherchera le propriétaire de ce dernier »*, précise Katia Coutant.

▸ son constante par rapport à l'axe Terre-Soleil), à des altitudes comprises entre 500 et 2000 kilomètres — entre 600 et 800 kilomètres pour l'AI-1.

Le vide spatial met les microprocesseurs à rude épreuve

Dans ces conditions, la face exposée au Soleil peut atteindre 150 °C. Et si on cale l'orbite pour franchir l'équateur à 6 h ou à 18 h, les éclipses seront fortement réduites, voire quasi inexistantes. En l'absence de phénomène de convection comme sur Terre, ce sera donc aux radiateurs, d'une surface totale de 160 m², blindés contre les micrométéorites, de dissiper la chaleur produite par les processeurs et le rayonnement solaire. Ils devront être orientés perpendiculairement au Soleil pour éviter de surchauffer. L'idéal serait d'avoir moins de chaleur à dissiper, en utilisant *« des processeurs qui réduisent la consommation d'énergie »*, suggère Brandon Lucia, qui dirige la start-up Efficient Computer. Celle-ci est à l'origine de la puce Electron E1, qui serait *« plus économe en énergie que des produits comparables »*.

Autre difficulté inhérente à l'environnement spatial : les data centers orbitaux devront résister aux rayonnements cosmiques, constitués de particules à haute énergie venant du Soleil (émises lors d'éruptions solaires), ou de l'espace interstellaire, voire intergalactique. Car plus on s'éloigne de la Terre, plus le champ magnétique, qui sert de bouclier, faiblit. *« Quand des rayonnements atteignent les puces et les mémoires, cela peut provoquer des incidents qui corrompent l'état de la mémoire en inversant un bit »*, explique Didier Alary.

Des solutions existent : *« Des blindages sur les circuits sensibles, des codes correcteurs d'erreurs, ou faire tourner trois processeurs en même temps et lancer un vote majoritaire à chaque fois »*, complète l'ancien ingénieur d'Airbus. Mais ces renforcements *« pourraient avoir un impact négatif sur la puissance de calculs ; et augmenter l'énergie nécessaire pour faire fonctionner les processeurs, ainsi que la complexité du matériel et son coût de fabrication »*, avertit Ablimit Aili, auteur principal d'une étude sur les data centers orbitaux, publiée en 2025 dans *Nature Electronics,* et chercheur au centre d'innovation technologique du fleuve Yangtsé de l'université du Zhejiang (Chine). La Nasa développe avec le fabricant américain de semi-conducteurs Microchip Technology un processeur qui résisterait aux rayonnements cosmiques et offrirait une puissance de calcul supérieure à celle des systèmes actuels. De son côté, Nvidia a lancé en mars le module Space-1 Vera-Rubin, conçu pour une utilisation dans l'espace (mais pas encore testé en conditions réelles).

L'autre souci des rayonnements, c'est qu'ils provoquent *« un vieillissement accéléré des semi-conducteurs »*, souligne Didier Alary, mais difficile de savoir de combien de temps, sans données empiriques qui étayent cette hypothèse. Sur Terre, *« la durée de vie d'un GPU est actuellement estimée à environ trois ans, lorsqu'il est utilisé à pleine capacité en continu. De plus, les innovations sont si fréquentes dans ce secteur qu'il est déjà considéré comme obsolète au bout de cette période »*, rappelle Andreas Schmidt, chercheur spécialisé dans les systèmes et les logiciels durables et fiables à l'université de la Sarre (Allemagne) et coauteur d'une étude (2025) publiée dans *ACM Sigenergy,* qui conclut que *« les data centers orbitaux nécessiteront de nombreuses innovations pour devenir plus durables que leurs homologues terrestres »*.

Reste un problème, aujourd'hui encore sans solution : la maintenance. Sur Terre, les centres de données font aussi l'objet d'interventions, parfois quotidiennes, en cas de panne ou pour la remise à niveau de puces et de serveurs. *« En orbite, on ne pourra pas les réparer facilement. Après quelques années, on devra les détruire soit en faisant une rentrée atmosphérique* [quand un satellite en fin de vie se désintègre dans l'atmosphère], *soit en les envoyant sur une orbite cimetière, à condition qu'il reste un peu d'ergol »*, prédit Didier Alary.

Mais il s'agira d'intervenir sur un très grand nombre de satellites. *« Le satellite AI-1 ne dépasserait pas l'équivalent de deux baies du data center Colossus qui opère les IA d'Elon Musk. Il faut donc une constellation de satellites pour agréger la puissance, en gigawatts, correspondante aux gros projets de data centers »*, notent Abdoulaye Gamatie et Gilles Sassatelli, directeurs de recherche CNRS au LIRMM de Montpellier. Fin janvier 2026, SpaceX a soumis un dossier d'autorisation auprès de la Commission fédérale des communications (FCC), l'agence américaine des télécoms, pour lancer en orbite terrestre basse une constellation… de 1 million de satellites ! Chez Starcloud, l'objectif visé est de 88 000, et de 51 600 chez Blue Origin.

Entre souveraineté stratégique et budgets astronomiques

Malgré ces obstacles, l'attrait est réel et l'argument énergétique n'est pas le seul : *« Pour les pays situés dans des contextes géopolitiques complexes, garantir la sécurité, la résilience et le contrôle souverain des données critiques constitue une priorité nationale »*, fait valoir Shareef Al Romaithi, fondateur de la start-up émiratie Madari Space, dont les satellites seront dédiés au stockage de données sensibles. Cependant, même dans l'espace, les data centers peuvent devenir des cibles. *« De grands data centers orbitaux peuvent éveiller l'intérêt d'acteurs malveillants »*, prévient Benoît Wagner, doctorant de l'EHESS rattaché au centre Alexandre-Koyré et au Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications (Loria). Ainsi, ces infrastructures stratégiques pourraient être la cible d'une destruction physique, d'une guerre électronique ou encore de cyberattaques.

La dernière inconnue, et pas la moindre, reste le coût de telles constellations. L'analyste Bill Ray constate que *« la génération actuelle de data centers orbitaux repose sur l'hypothèse que les coûts de lancement vont chuter, une fois que Starship sera opérationnel »*. Mais si ce n'est pas le cas, *« le projet de Starcloud, qui prévoit 88 000 satellites, pesant chacun environ 60 kg, coûterait un peu plus de 21 milliards de dollars à lancer, tandis que celui de SpaceX, en supposant que chaque satellite pèse deux tonnes, engagerait 4200 milliards de dollars. »* Le décollage des data centers est loin d'être assuré. ■ **Chisato Goya**

Sollicitées dans le cadre de cette enquête, les entreprises Blue Origin, Cowboy Space Corporation, Nvidia, Panthalassa, SpaceX et Starcloud n'ont pas répondu à nos demandes d'entretien.

PANTHALASSA

Ce modèle de data center Ocean-3 produit puis consomme son énergie à bord, avant d'envoyer les données par satellite.

PANTHALASSA

Le data center flottant de Peter Thiel

Alors qu'Elon Musk regarde vers l'espace, d'autres misent sur l'océan, capable d'assurer à la fois le refroidissement et l'alimentation en énergie. En mai 2026, la start-up américaine Panthalassa a levé 140 millions de dollars auprès d'investisseurs emmenés par l'entrepreneur de la Silicon Valley Peter Thiel. Elle développe des structures flottantes en acier, de 85 m de haut sur 20 m de large, constituées d'une sphère posée sur un tube vertical immergé. Le va-et-vient des vagues propulse l'eau à travers le tube, jusqu'à un réservoir d'où elle est libérée pour faire tourner une turbine qui produit de l'énergie renouvelable pour les puces d'IA embarquées à bord. Après des prototypes conçus et testés entre 2021 et 2024, Panthalassa compte déployer les premiers démonstrateurs Ocean-3 dans le nord du Pacifique d'ici à la fin 2026.

PHANTOM SPACE

Le lanceur Daytona (vue d'artiste) de Phantom Space est un projet de fusée d'environ 20 m de haut, conçue pour aller placer des centres de données en orbite basse.

JOSUE FERNANDEZ-LA INDUSTRIA / AFP

MARIE HIPPENMEYER/AFP

Début 1998, le puissant El Niño a provoqué des bouleversements climatiques majeurs en Amérique du Sud, avec des pluies torrentielles sur la côte pacifique du Pérou et des sécheresses favorisant d'énormes incendies en Amazonie brésilienne.

El Niño

Les craintes d'un épisode extrême se confirment

La hausse rapide des températures dans le Pacifique tropical annonce le développement d'un événement de forte intensité. Ses effets devraient dominer le climat mondial au cours des prochains mois.

Par Loïc Chauveau

Un monstre climatique se prépare-t-il dans le Pacifique ? Un épisode El Niño d'une ampleur exceptionnelle se met actuellement en place, au point que certains scientifiques parlent déjà de *« super El Niño »*, voire d'*« El Niño Godzilla »*, pour reprendre la métaphore forgée en 2015 par le climatologue Bill Patzert, alors chercheur au Jet Propulsion Laboratory de la Nasa, à propos de ces épisodes extrêmes. Dans son bulletin du 31 juillet, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) affirme qu'un puissant épisode est déjà à l'œuvre dans le Pacifique, et qu'il continuera de s'intensifier.

El Niño, ou de son nom complet « l'oscillation australe El Niño » (Enso) est le fruit des rencontres entre un bassin océanique de 12 000 kilomètres de long et des vents dominants. Si le Pacifique est plutôt prévisible, l'atmosphère, elle, est chaotique. Une certitude : il y aura bien un El Niño en décembre — la période habituelle de son pic —, qui lui vaut son nom de l'*« Enfant Jésus »*. Le monde retient donc son souffle. Tous les pays riverains du Pacifique, de l'Australie et l'Indonésie à l'ouest au Pérou et au Chili à l'est, gardent en mémoire l'épisode violent du phénomène en 1997 *(voir ci-contre)*.

Chaque Niño est unique par son évolution, sa configuration spatiale et ses impacts rappelle l'OMM, dans son alerte du 2 juin 2026. Mais *« il est généralement associé à une augmentation des précipitations dans certaines régions du sud de l'Amérique du Sud, dans le sud des États-Unis d'Amérique et dans certains secteurs de la Corne de l'Afrique et de l'Asie centrale, et à un temps plus sec*

RESSOURCES HALIEUTIQUES

L'Anchois du Pérou, sous haute surveillance

La plus grande pêcherie du monde d'anchois se situe au large du Pérou. Leur transformation en farine nourrirait 50 % de l'industrie aquacole mondiale. La remontée d'eaux froides riches en nutriments, générée par le courant de Humboldt, offre à l'espèce les conditions nécessaires pour se multiplier. *« Durant El Niño, les remontées d'eau continuent mais elles sont chaudes et pauvres en nutriments, si bien que l'espèce perd son habitat favorable »,* résume Arnaud Bertrand, directeur de recherche à l'IRD. En comparant les Niño majeurs de 1982 et 1997, il a observé des impacts différents. *« En 1982, toute une classe d'âge y est passée, avec une mortalité massive et aucune reproduction efficace. Tandis qu'en 1997, des poches d'eau froide riches en nutriments ont servi de refuges, si bien que la population a pu se reconstituer plus vite. »*
L'annonce anticipée d'un Niño permet à l'Institut de la mer du Pérou de préparer le secteur à une restriction de la pêche et à une baisse des revenus. *« Une évaluation du stock est faite deux à trois fois par an, voire plus en période El Niño. Ces avis sont largement suivis par les autorités, et les quotas sont respectés par les industriels »,* souligne l'océanographe.

▸ *en Amérique centrale, dans le nord de l'Amérique du Sud, dans les Caraïbes, en Australie, en Indonésie et dans certaines régions du sud de l'Asie* ». Les prévisionnistes s'attendent ainsi à des moussons africaines et indiennes plus faibles en précipitations.

De nouveaux instruments pour mieux anticiper

Le Niño de 1997 reste aussi dans les mémoires des scientifiques. *« Prévu près d'un an à l'avance par certains modèles du climat, il a été le premier événement intense suivi en direct grâce aux satellites et aux mouillages déployés dans le Pacifique oriental »,* rappelle Jérôme Vialard, chercheur à l'Institut de recherche pour le développement (IRD), au laboratoire Locean. Le précédent épisode de grande ampleur, en 1982, n'avait pu être anticipé. Les progrès scientifiques sur ces quarante ans se mesurent ainsi à une meilleure fiabilité des prévisions. Cette année, l'OMM a émis son premier communiqué d'alerte en mars, soit dix mois avant le pic du Niño, à Noël. Auparavant, les pêcheurs péruviens et les habitants des Andes subissaient la catastrophe sans pouvoir l'anticiper. Car Enso produit ses effets les plus spectaculaires dans les eaux littorales de l'Amérique du Sud. En temps normal, la température de surface du Pacifique augmente d'est en ouest, des côtes péruviennes — où elles n'excèdent pas 22 °C — aux côtes indonésiennes, où elles s'élèvent à 30 °C. Ce contraste est attribué aux alizés, ces vents qui soufflent depuis l'est. Tous les trois à sept ans, l'affaiblissement de ces vents réguliers provoque une bascule. Le réservoir d'eau chaude se déplace vers l'est *(voir infographie ci-contre).* Ce déplacement de chaleur est connu depuis cinquante ans seulement. *« C'est l'océanographe Klaus Wyrtki qui, en 1975, a décrit le phénomène, sans satellites et avec très peu de données de terrain »,* admire Jérôme Vialard. Ces travaux incitent l'OMM à coordonner, entre 1985 et 1994, le programme Toga Tao (Tropical atmosphere and ocean).
Les premiers satellites d'observation de la Terre, couplés aux observations *in situ* par les mouillages et les navires océanographiques permettent ainsi de mieux mesurer la température de surface de l'océan. *« Dans les années 1990, les satellites ont embarqué des altimètres, un progrès majeur,* poursuit Jérôme Vialard. *Ces outils permettent de mesurer le gonflement de la surface de l'océan, du fait de la dilatation de l'eau sous l'effet de la chaleur. »* Ainsi, entre février et avril 1997, le satellite européen Topex/Poséidon détecte un gonflement de 10 cm des eaux du Pacifique central. En juillet, le déplacement vers l'est se confirme et s'amplifie avec une élévation de 2 cm. On délimite l'ampleur de

ÉCONOMIE

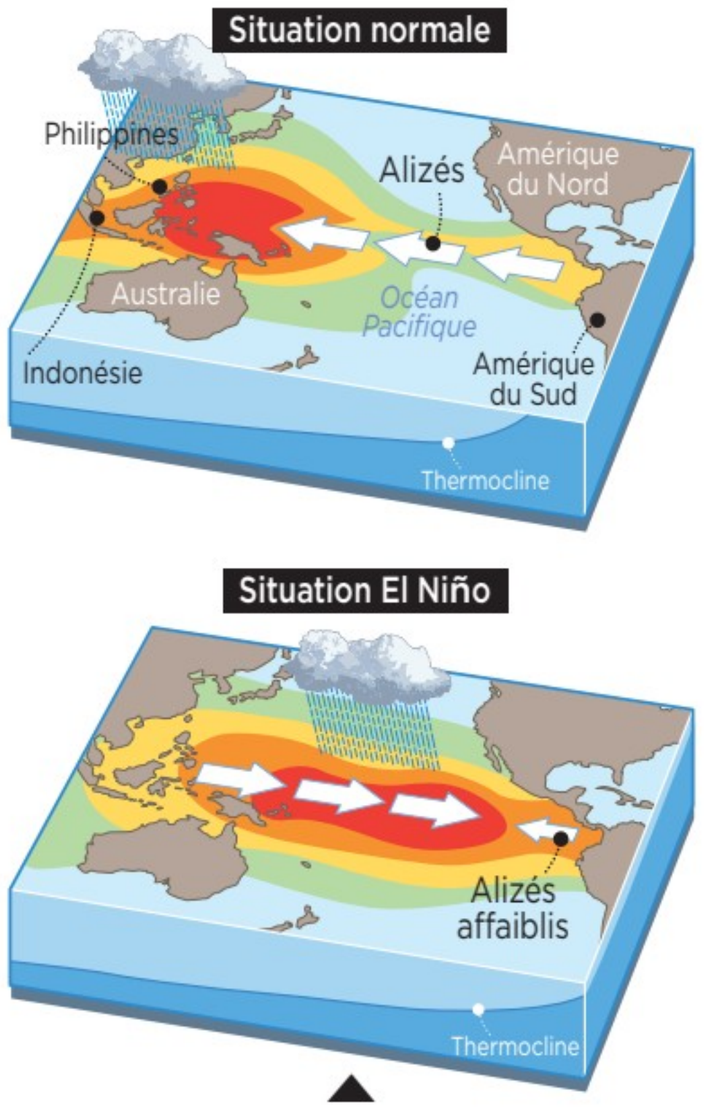
El Niño 1997, la facture mondiale

**Le Niño de 1997 a entraîné la mort de 23 000 personnes et des dégâts dans 27 pays. Selon une étude publiée dans *Science* (2023), l'économie mondiale aurait perdu près de 5500 milliards d'euros, au cours des cinq ans suivant l'épisode. Au Pérou et en Équateur, des éboulements de terrain, occasionnant des destructions de quartiers d'habitations et d'infrastructures édifiés sur les pentes des Andes, constituent le principal des pertes. La Californie a également connu de fortes inondations.
À l'inverse, l'est du bassin (Australie, Indonésie) a subi des sécheresses spectaculaires : la première a enregistré des rendements faibles en blé ; la seconde a perdu 400 000 hectares de rizières, et de gigantesques incendies ont ravagé 2 millions d'hectares de forêts, à Sumatra.**

la surface océanique dilatée : 1,5 fois la surface des États-Unis ! Pour la première fois, un Niño est prédit mais son intensité est sous-estimée. Il sera cataclysmique *(voir ci-contre)*.

Une climatisation planétaire qui réchauffe l'atmosphère

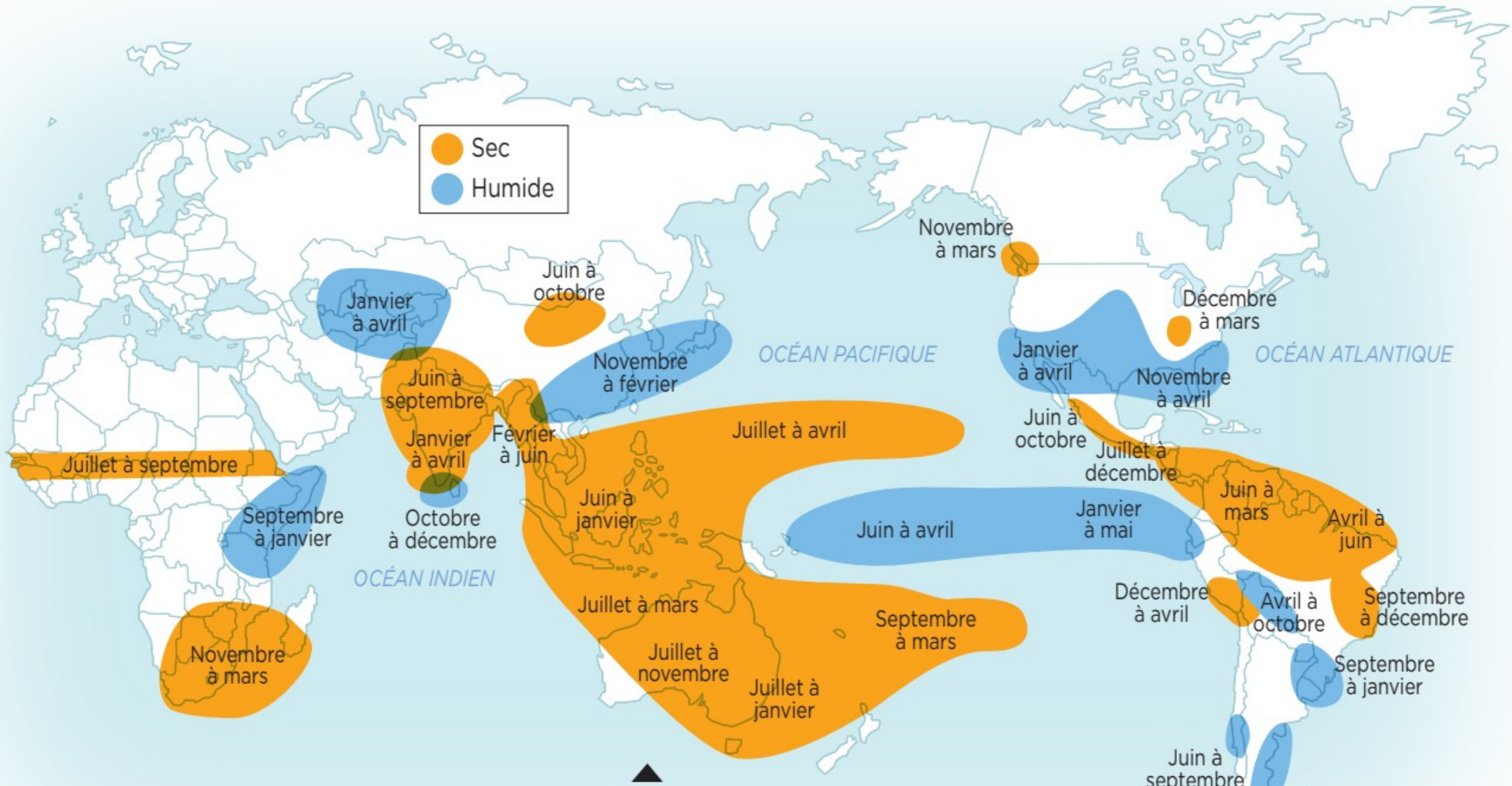
Topex/Poséidon suivra la décrue. En juin 1998, l'océan a retrouvé son état d'origine et en juillet, le satellite détecte les premiers signes d'un évènement inverse, la Niña. En 2000, le Pacifique a retrouvé son état neutre. Depuis, le programme Argo a renforcé la surveillance de la surface de l'océan. *« Ces automates vont et viennent, entre 2000 mètres de profondeur et la surface en mesurant température et salinité de l'eau »*, précise Jérôme Vialard. Des dizaines de satellites sont désormais en opération, dont les Sentinel du programme Copernicus. Depuis 2000, six Niño ont été détectés. Le dernier, celui de 2023-2024, a contribué à faire de 2024 l'année la plus chaude jamais observée. Enso peut, en effet, être vu comme une climatisation planétaire qui réchauffe temporairement l'atmosphère pendant les Niño, et la refroidit avec les Niña.



Lorsque les alizés faiblissent, le réservoir d'eau chaude se déplace vers l'est, bouleversant le régime des pluies.

C'est pour cette raison que l'Organisation météorologique mondiale s'est voulue alarmante. Les températures de surface de la zone équatoriale du Pacifique remontent très rapidement. La hausse des températures moyennes saisonnières de la mer en surface devraient dépasser 2,9 °C entre août et octobre, selon les prévisions publiées fin juillet. *« Ces anomalies de surface croissantes sont alimentées par des températures anormalement élevées sous la surface de l'ensemble du Pacifique tropical,* écrit l'institution onusienne. *Une grande partie du Pacifique équatorial connaît des températures sous la surface supérieures de plus de 6 °C par rapport à la normale. »* En clair, ce Niño-là a beaucoup de carburant. Les changements de température suivent un affaiblissement du régime des vents et une augmentation de la couverture nuageuse ▶

INFOGRAPHIES : BRUNO BOURGEOIS



L'« oscillation australe El Niño » modifie le régime des précipitations dans de nombreuses régions du monde.

ESA/ATG MEDIALAB

ARGO

Satellites (ici, le Sentinel-5 Precursor) et balises Argo surveillent en continu la hauteur et la température des océans. Des observations essentielles pour alimenter les modèles et améliorer les prévisions d'El Niño.

conformes à l'instauration du nouveau régime. Le pic des effets météo attendus devrait intervenir entre novembre 2026 et février 2027, mais les impacts sur les températures mondiales sont généralement plus intenses l'année qui suit l'émergence du phénomène, soit l'ensemble de l'année 2027.

Quelle sera l'intensité de cet épisode ? *« Les effets d'El Niño et de la Niña varient en fonction de l'intensité et de la durée de l'épisode concerné ; ainsi que de la période de l'année à laquelle il se produit ; et de son interaction avec d'autres modes de variabilité climatique* [comme le dipôle de l'océan Indien, une oscillation des eaux chaudes et froides tropicales similaires à El Niño]. *Toutes les régions du monde ne sont pas touchées et, même au sein d'une région, les impacts peuvent varier. Des phénomènes météorologiques extrêmes peuvent survenir même lors de conditions Enso neutres »*, détaille l'OMM.

Des interactions atmosphère-océan en pleine évolution

Quelles sont les causes de cette variabilité ? C'est le couple que forment l'océan et l'atmosphère. Les vents et l'océan s'échangent de la chaleur et influencent ainsi mutuellement leurs températures. Ce fragile équilibre s'emballe pour former un Niño ou une Niña. Si ces phénomènes sont prévisibles, le vent connaît, en revanche, des soubresauts chaotiques. *« L'océan est comparable à quelqu'un qui cherche à contrôler, au bout de sa laisse, un chien fou qui tire, saute et court dans tous les sens, soit le comportement des vents »*, pointe Jérôme Vialard. Ces variations limitent la prévisibilité des Niño. Les températures de surface peuvent ainsi être très élevées, si les vents continuent à souffler vers l'ouest, le Niño s'affaiblira. La manière dont Enso interagit avec d'autres acteurs de la variabilité climatique *« est une des frontières actuelles de la science »*, poursuit-il.

La seconde frontière scientifique, c'est l'effet du changement climatique sur Enso. Les modèles indiquent que les précipitations liées à El Niño vont se renforcer dans un climat plus chaud ; mais le consensus est plus fragile sur l'impact des températures mondiales. Ainsi, en se superposant au réchauffement provoqué par les émissions humaines, le El Niño de 1997 a temporairement fait passer la température de la planète au-dessus des 1,5 °C de hausse par rapport aux débuts de l'ère industrielle. L'année 1998 a été classée comme la plus chaude du XX^{e} siècle. Elle a, depuis, été dépassée puisque les 11 plus chaudes années sont les 11 dernières, malgré un épisode La Niña entre 2020 et 2022. Depuis 2000, le rythme d'augmentation de la température a doublé. Quel impact aurait donc un Niño de 1997 avec une température plus élevée d'environ 0,7 °C ? Un Niño cataclysmique ? Les prochains mois diront jusqu'où ira cet épisode, mais les données océaniques laissent déjà deviner un phénomène d'une puissance rare. ■

METEOROLOGIE

Quelles conséquences pour la France ?

El Niño a des répercussions mondiales qui atteignent aussi l'Atlantique Nord. L'impact le plus immédiat est celui des températures, avec des étés plus secs et chauds. En hiver, selon Météo France, un épisode El Niño marqué favorise en début de saison des conditions dépressionnaires sur le proche Atlantique, associées à des températures plus douces et des précipitations plus abondantes. *« Si l'influence est faible, elle est cependant tout à fait réelle, notamment pour les températures d'été »*, confirme Jérôme Vialard. Dans l'Atlantique tropical et les Caraïbes, en revanche, un El Niño marqué inhibe la formation de cyclones, si bien que la NOAA, l'organisme météo américain, annonce une activité cyclonique, qui débute fin août, *« inférieure à la normale ».*

BRUNO MATHIEU/BIOSPHOTO

Le « Lynx lynx », plus grand félin sauvage d'Europe, ne compte qu'environ 200 individus dans les massifs forestiers français.

Les anges gardiens du lynx boréal

Invisible ou presque dans les massifs français, ce discret prédateur laisse pourtant derrière lui une mine d'informations. Grâce à l'ADN contenu dans ses fèces, collectées par 234 bénévoles, des chercheurs ont réalisé un premier portrait génétique du félin qui révèle ses fragilités.

Dans le Jura, mais aussi les Alpes et les Vosges, le lynx boréal (*Lynx lynx)* sait se faire discret. Environ 200 individus arpenteraient ces massifs français. Réputé insaisissable, celui qui détient le titre du « plus grand félin sauvage en Europe » laisse cependant des traces derrière lui : des empreintes, des poils… mais aussi des crottes. Celles-ci représentent un matériel précieux pour les scientifiques, car elles renferment une multitude d'informations, du régime alimentaire au patrimoine génétique de ces animaux. C'est de ce constat qu'est né le projet Œil de Lynx, porté par la Société française pour l'étude et la protection des mammifères (SFEPM). Entre 2019 et 2025, cette association a coordonné une large collecte des fèces de ce grand prédateur. Une démarche qui a trouvé sa place dans le Plan national d'actions dédié au lynx, lancé par l'État en 2022, visant à *« rétablir l'espèce dans un état de conservation favorable »*. Parmi les

FANNY GOURDON/ SFEPM

Formés par la SFEPM, les 234 bénévoles du projet Œil de Lynx ont sillonné le terrain pour collecter des échantillons de crottes, selon un protocole strict.

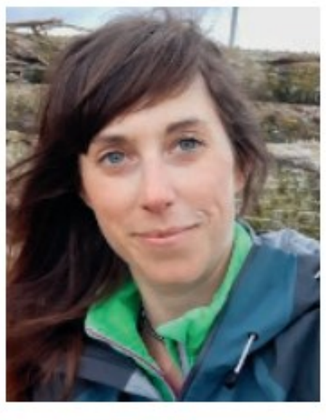
objectifs de ce plan : le suivi des populations et le suivi génétique du félin. Deux missions qu'ont menées trois chercheurs du laboratoire Chrono-environnement de l'université Marie et Louis Pasteur (Besançon), en analysant les crottes de l'animal. Les résultats de ces travaux ont donné lieu, fin mars, à une première publication dans la revue *Global Ecology and Conservation (Gecco).*

Une méthode non invasive pour suivre les populations

« C'est la première fois, en France, que l'on fait un suivi génétique du lynx, à grande échelle, à partir de fèces », souligne Rebecca Burlaud, cheffe de projet Lynx à la SFEPM, également coautrice de l'étude, qui précise qu'un tel procédé avait déjà été utilisé pour les loups ou les ours. Généralement, les colliers GPS ou encore les caméras automatiques permettent d'identifier les parcours — et aussi les habitats — de certains grands prédateurs, dont les lynx, et même de compter les populations. *« Cependant, on passe à côté d'informations sur la diversité génétique »,* relève Rebecca Burlaud. Pour accéder à ce degré de précision, des prises de sang sont parfois effectuées sur des animaux morts ou captifs, après avoir été blessés, souvent lors de collisions routières, ce qui est malheureusement fréquent pour les lynx. *« Mais c'est très invasif »,* déplore la spécialiste. C'est l'un des avantages pointés dans la publication du *Gecco :* l'utilisation d'une méthode non invasive.

Si cette étude inédite a pu être menée à bien, c'est grâce notamment aux 234 bénévoles qui se sont mobilisés : *« Des personnels d'ONG environnementales, d'aires forestières ou d'aires protégées, autant que des naturalistes et des chasseurs »,* liste la chercheuse. En ne restreignant pas les collecteurs à des scientifiques, ni même à des spécialistes du lynx boréal, le projet a permis d'*« atteindre une zone d'étude beaucoup plus vaste »,* note Rebecca Burlaud, qui assume aussi l'aspect militant de cette démarche participative : *« Cela permet d'impliquer la société civile dans un projet de recherche. »* Au-delà de la sensibilisation à la protection du lynx, le projet était en effet l'occasion de transmettre des connaissances sur cet animal aux différents contributeurs, qui ont tous suivi une formation de deux heures, délivrée par la SFEPM. Objectif principal : apprendre à identifier les crottes de lynx. Car la tâche n'est pas si simple *(voir l'encadré ci-contre) : « Il n'est pas toujours évident de les différencier de celles du chat forestier ou du renard »,* constate Olivier Julian. Agent SNCF, ce « naturaliste » a participé à l'aventure Œil de Lynx dès le début. *« Il y a ce qu'on appelle des "crottiers" ; j'y allais régulièrement, et j'en trouvais souvent. »*

Dans sa quête, Olivier repère aussi les trajets de l'animal tant convoité, qui *« aime les crêtes et le pied des barres rocheuses ».* Pour éviter de passer à côté de potentiel matériel génétique, la SFEPM demande à ses collecteurs de ne pas être restrictifs : même s'ils ont un doute, même si les fèces ne semblent pas fraîches, il faut ramasser ! Une stratégie qui a non seulement permis de maximiser le nombre d'échantillons récupérés, mais aussi de constituer une base de données sur d'autres animaux, principalement des



R. BURLAUD

« Il n'y a pas de sang neuf qui arrive (...) et cela réduit leur capacité à s'adapter à des environnements qui changent »

Rebecca Burlaud, cheffe de projet Lynx à la Société française pour l'étude et la protection des mammifères (SFEPM)

renards et chats forestiers, qui servira à de futures études. *« Une fois, je soupçonnais fortement avoir trouvé une crotte de loup,* confie Olivier. *Je l'ai récupérée avec l'aval de Rebecca. »*

Cette collecte s'est faite en respectant un protocole strict : sur un formulaire, les bénévoles indiquaient notamment la date et la géolocalisation de leurs trouvailles. Les crottes devaient être glissées dans un sac zippé, en veillant à en laisser une partie sur place, *« pour maintenir leur fonction écologique et leur rôle de communication intra et interespèces »*. Elles étaient ensuite conservées au congélateur, à -18 °C, et centralisées par un référent de la SFEPM par section, avant d'être envoyées en laboratoire. Au total, 729 échantillons ont été collectés. Sur les 456 exploités dans le cadre de l'étude publiée dans *Gecco,* focalisée essentiellement sur le Jura, 174 se sont révélés provenir de 74 lynx différents, soit environ 50 % de la population du prédateur estimée dans ce massif. Olivier, qui a transmis des dizaines d'échantillons en six ans, se sent comme *« un maillon d'une grande chaîne qui permet de mieux connaître le lynx ».*

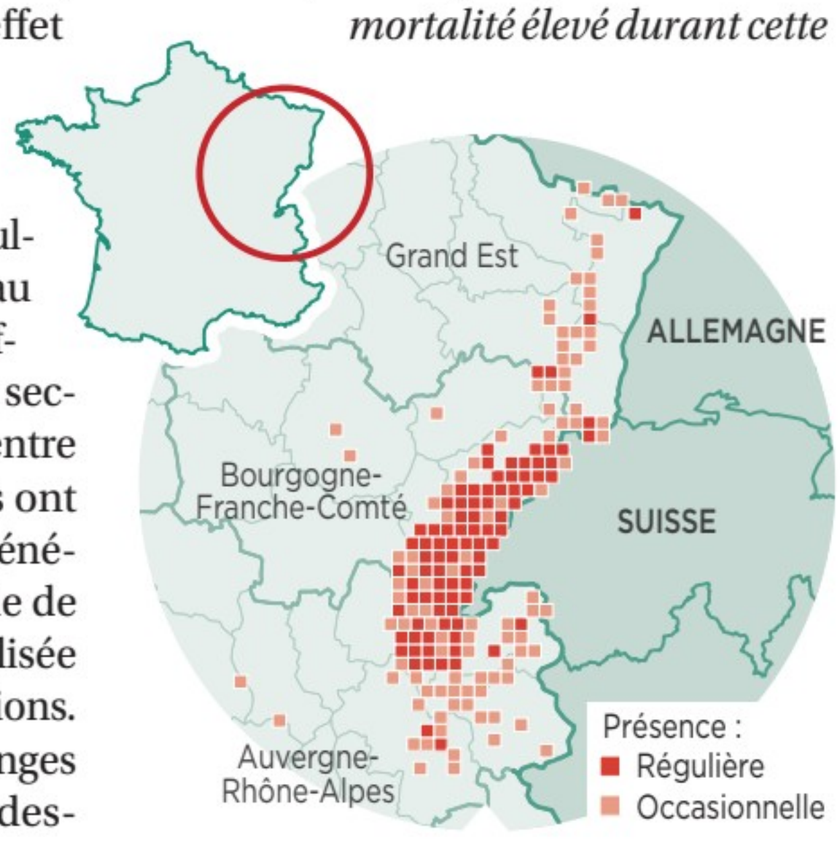
Les enjeux génétiques des futures réintroductions

Grâce à ces morceaux d'excréments, l'équipe de chercheurs a pu en effet étudier avec précision l'ADN de l'animal, et analyser la diversité génétique de la population jurassienne et du nord des Alpes. Les résultats montrent que le flux de gènes au sein de cette population semble suffisant ; autrement dit, les lynx de ce secteur circulent et se reproduisent entre eux. En revanche, les chercheurs ont observé un manque de diversité génétique mitochondriale — une partie de l'ADN transmise par la mère et utilisée pour retracer l'histoire des populations. Cela suggère que, malgré les échanges actuels entre individus, les lynx descendent d'un nombre limité d'ancêtres et conservent une faible diversité génétique héritée des populations réintroduites.

Pour le comprendre, il faut remonter aux années 1970 et 1990, lors des réintroductions en Suisse et en France de lynx originaires de la population des Carpates, en Europe de l'Est. Ces *« programmes de réintroduction ont souvent négligé les facteurs génétiques »,* souligne l'étude. Outre le *« faible nombre d'individus »* relâchés, *« leur degré de lien de parenté n'a pas été pris en compte. Ces éléments ont probablement contribué à un "effet fondateur", selon lequel la diversité génétique des populations réintroduites est faible en comparaison avec la population source »*. Cet effet est renforcé par une *« dispersion limitée »* des lynx en dehors de la zone où ils sont nés, en raison de *« barrières physiques (urbanisation des vallées, autoroutes, canaux, etc.) et d'un taux de mortalité élevé durant cette dispersion (par exemple à cause de collisions routières) ». « Il n'y a pas de sang neuf qui arrive »*, conclut Rebecca Burlaud. Cette faible diversité génétique, combinée à des risques de consanguinité, a des conséquences sur la santé des lynx, poursuit la chargée de projet : *« Cela réduit leur capacité à s'adapter à des environnements qui changent, tels que des parasites, ou le changement climatique. Et si un problème génétique émerge chez un individu du fait d'une mutation spontanée, elle sera transmise à d'autres individus. »*

Pour contrer cette tendance, une seule solution : la réintroduction de nouveaux individus. Fin mars, le préfet coordonnateur du Plan national d'actions a, en ce sens, annoncé des lâchers de lynx en 2027, sans que l'on sache à ce jour d'où ceux-ci proviendraient. Une décision saluée par les associations, dont la SFEPM, qui alertent toutefois sur les conditions à respecter pour qu'une telle opération soit efficace. Rebecca Burlaud invite notamment à bien choisir *« l'origine des lynx »,* pour éviter cet *« effet fondateur »*.

Concernant le Plan national d'actions, 2026 marque l'heure du bilan. Un second volet devrait voir le jour dès l'année prochaine. Les chercheurs, eux, estiment qu'une future étude génétique *« pourrait aider à déterminer si les schémas décrits dans cette première étude demeurent stables dans le temps, ou indiquent qu'une érosion génétique est en cours. »* En réorganisant une nouvelle collecte de crottes ? ■ **Camille Jourdan**



Les principaux foyers du lynx en France se situent dans le Jura, les Vosges et les Alpes.

BRUNO BOURGEOIS - SOURCE : OFB

COLLECTE

Reconnaître la crotte de lynx

La crotte « typée », c'est-à-dire caractéristique du prédateur, est facilement repérable : *« C'est comme une grosse crotte de chat : elle est formée de plusieurs boulettes d'environ 2 à 5 cm chacune »,* décrit Rebecca Burlaud. Chaque tronçon présente *« d'un côté, une légère dépression et de l'autre, un bout arrondi avec une pointe un peu effilée. »* Elle renferme aussi souvent des poils de chevreuil ou de chamois, voire des restes de petits mammifères. Mais ces indices ne sont pas réunis à chaque fois. D'où la difficulté d'une reconnaissance sur le terrain.

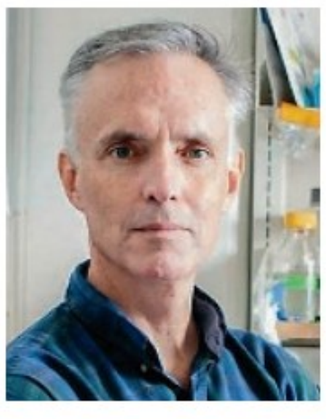
Quand l'IA s'entraîne à écrire le vivant

Après les textes et les images, l'intelligence artificielle s'attaque au code du vivant avec Evo2. En apprenant les règles qui gouvernent les génomes, ce « ChatGPT de la génétique » devient capable d'inventer des séquences d'ADN pour la médecine, l'industrie ou l'environnement.

Et l'IA créa la vie. C'est peut-être en ces termes qu'on évoquera l'année 2026 dans les livres d'histoire des sciences. En mars dernier, une équipe de l'université Stanford et de l'Institut Arc, en Californie, a présenté dans la revue *Nature* un modèle d'IA capable de concevoir des génomes qui n'existent pas dans la nature. À l'image de ChatGPT, qui rédige des textes inédits et cohérents, le modèle Evo2 invente des séquences génétiques fonctionnelles. Certains de ces génomes ont déjà été testés en laboratoire. Ils ont permis d'obtenir des virus bactériophages plus efficaces que ceux dont ils dérivent, selon une publication dans *Science* en août.

Comment fonctionne cet outil de conception génomique ? Comme ChatGPT identifie la structure du langage pour ensuite écrire des phrases grammaticalement correctes, Evo2 apprend les règles qui gouvernent l'organisation des génomes en analysant des millions de séquences d'ADN. Il repère notamment les motifs génétiques récurrents au cours de l'évolution et qui jouent un rôle important dans le fonctionnement du vivant. À partir de ces connaissances, le modèle est capable de créer de nouvelles séquences génétiques respectant les grandes règles naturelles.

Cette IA marque ainsi un tournant dans la biologie synthétique, domaine de recherche qui ambitionne de créer des microbes à notre service avec des génomes sur mesure. L'idée est que l'ADN n'est rien d'autre qu'un manuel d'instructions moléculaires qui dicte à la cellule ce qu'elle doit faire. En réécrivant ces instructions, les chercheurs peuvent modifier le comportement d'un organisme. L'IA vient faciliter ce processus de la même façon que Claude Code (Anthropic) facilite le codage pour les programmeurs informatiques : il suffit de lui décrire le code génomique souhaité pour qu'Evo2 l'écrive à notre place. C'est ainsi que des chercheurs sont capables aujourd'hui de créer de toutes pièces des virus tueurs de bactéries résistantes aux antibiotiques *(lire l'encadré p. 42)*, et



J.J. COLLINS

« Evo2 permet de faciliter la conception de gènes, et même de petits génomes comme ceux de bactériophages »

James J. Collins, professeur de génie biologique à l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

STANFORD REPORT

Deux chercheurs de l'université Stanford examinent la structure d'une protéine générée par Evo2. Ce modèle d'IA a écrit près de 300 génomes à même de rendre des virus efficaces contre la bactérie *Escherichia coli.*

qu'ils envisagent de soigner des maladies auto-immunes ou de s'attaquer à la pollution plastique.

Des cellules utiles pour la médecine et l'agriculture

Pionnier de cette démarche de reprogrammation de micro-organismes, le biologiste américain Craig Venter (décédé en avril) avait présenté dès 2010 dans *Science* une méthode pour introduire un génome entièrement synthétique (copie de celui de la bactérie *Mycoplasma mycoides)* dans une bactérie d'une autre espèce *(Mycoplasma capricolum). « Nous avions montré que nous pouvions fabriquer un génome et le placer dans une cellule qui serait ensuite pilotée par ses instructions,* résume John Glass, professeur de biologie synthétique à l'Institut J. Craig Venter (JCVI) aux États-Unis et coauteur de l'étude. *Cela a ouvert la possibilité aux humains de concevoir des cellules avec des propriétés utiles pour la médecine, la recherche, l'agriculture, etc. »* Cependant, pour concevoir de nouveaux génomes, il faut d'abord identifier les éléments génétiques essentiels à la vie.

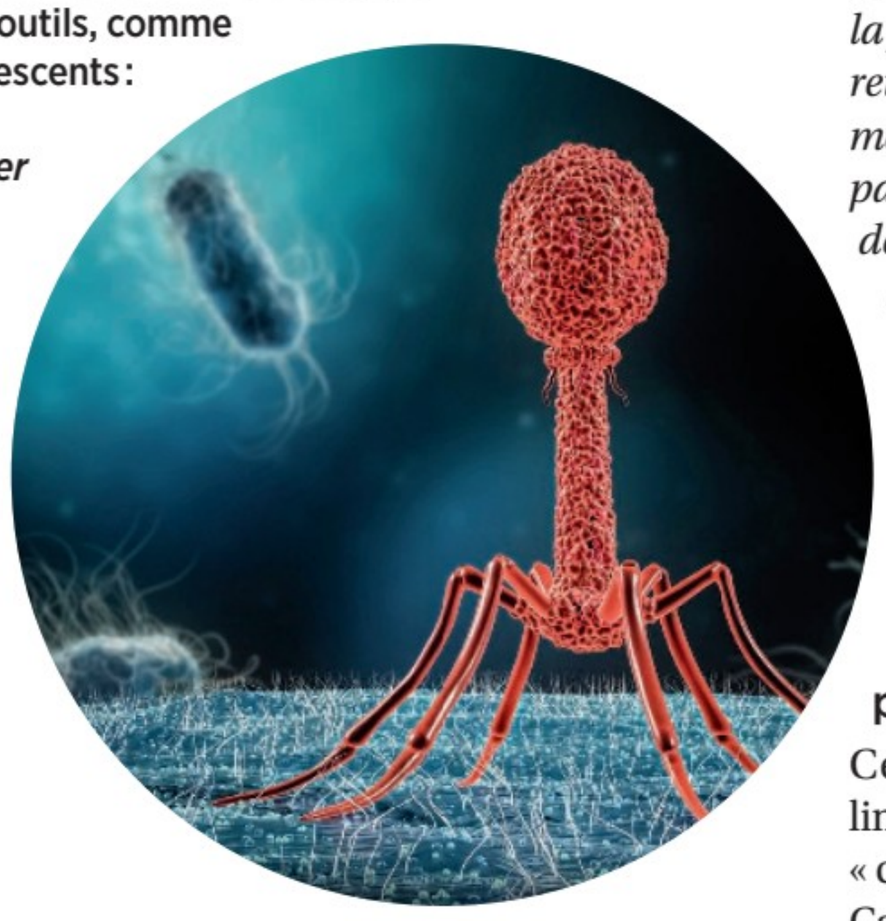
Jusqu'à présent, cette identification impliquait un processus laborieux d'essais et d'erreurs. C'est ainsi que cette même équipe est parvenue, en 2016, à créer l'organisme vivant avec le plus petit génome possible, Syn 3.0 : ils ont supprimé, une à une, des portions du génome de *Mycoplasma mycoides* afin d'identifier les éléments indispensables à la vie. *« C'était un processus très long,* se souvient John Glass. *Désormais, la conception du génome est bien plus facile. »* En facilitant cette étape, l'IA a le potentiel de raccourcir le cycle d'essais et erreurs à son minimum.

« Evo2 est très intéressant, car il a montré qu'un entraînement très large, sur des millions de séquences génomiques, permet de faciliter la conception de gènes,

VIROLOGIE

Des virus sur mesure contre l'antibiorésistance

Des chercheurs du New England Biolabs et de l'université Yale aux États-Unis, ont présenté en janvier, dans *PNAS,* une nouvelle méthode pour transformer les virus en « couteaux suisses ». Le génome est conçu pour que le bactériophage (virus tueur de bactéries) soit toxique spécifiquement pour des bactéries résistantes aux antibiotiques. Avec la possibilité d'y ajouter d'autres outils, comme des gènes codant des marqueurs fluorescents : ***« Si vous disposez de phages marqués, vous pouvez plus facilement les détecter lorsqu'ils atteignent leurs cibles,*** explique Paul Turner, professeur de biologie à Yale. ***Par exemple, pour détecter un acte de bioterrorisme dans un cours d'eau. Vous bénéficieriez d'un moyen très rapide pour déterminer en temps réel la présence d'une bactérie. Ce type de technologie pourrait, en principe, créer des phages qui ressemblent plus à ceux qui existent dans la nature et qui sont un peu comme ces couteaux suisses. »***



STANFORD REPORT

Vue rapprochée d'un phage, un virus tueur de bactéries, infectant un de ces organismes vivants.

▶ *et même de petits génomes comme ceux de bactériophages,* s'enthousiasme James J. Collins, professeur de génie biologique à l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT), qui n'a pas participé à l'étude sur Evo2. *Mais c'est encore très tôt. On doit d'abord valider de manière expérimentale ces prédictions de séquences, il faut aller au laboratoire pour vérifier que le système vivant censé être généré fonctionne réellement comme on le prévoyait. »*

Le génome d'origine bloqué grâce à un antibiotique

Comment tester ces nouveaux génomes ? Pour les virus, c'est assez simple : il suffit de fabriquer la séquence et de l'insérer dans une cellule hôte, comme lors d'une vraie infection, pour que les protéines virales soient construites et que les copies du virus assemblées. Toutefois les choses se compliquent pour des êtres plus complexes, tels que les bactéries, où le génome doit être à l'intérieur d'une cellule déjà fonctionnelle… mais sans ADN. John Glass et son équipe ont trouvé la solution : détruire le génome d'une bactérie, sans pour autant la tuer, et transplanter aussitôt le nouveau génome devant prendre le contrôle de la cellule : *« Nous utilisons un antibiotique anticancéreux, la mitomycine C, qui bloque le génome d'origine. Il suffit ensuite d'insérer le nouveau génome. »*

« C'est comme si on avait un ordinateur qui n'avait plus de logiciels : on installe un nouveau programme qui démarrera en utilisant les composants de la machine : la cellule commence à fonctionner selon ces nouvelles instructions », ajoute Zumra Seidel, postdoctorante au JCVI. Cette technique, présentée en mars, faciliterait l'évaluation dans la vie réelle de ces génomes conçus par l'IA. Ces cellules « zombies » deviendraient donc le support parfait pour ces génomes synthétiques, afin de produire des outils bactériens qu'on utiliserait pour fabriquer des médicaments, nettoyer l'environnement… ou créer de nouvelles armes biologiques ? *« Je ne crois pas que l'IA facilite vraiment la fabrication de microbes plus dangereux,* rassure James J. Collins. *L'IA augmente nos capacités de conception mais pas de façon dramatique. Nous savons déjà comment modifier un virus pour le rendre plus virulent. Et la partie la plus difficile reste la fabrication. Elle requiert des laboratoires qui sachent faire le travail expérimental et qui aient le budget pour mener ces recherches très onéreuses. »*

La bactérie E.coli modifiée pour recycler du plastique

Cette méthode présente aussi des limites techniques, qui restreindront la « créativité » de l'intelligence artificielle. Car le nouveau génome ne doit pas être trop éloigné de celui de la cellule hôte. Ce qui n'a pas empêché différentes équipes de transformer la bactérie *Escherichia coli* en usine à médicaments *(voir* Sciences et Avenir *n° 919),* et même en centre de recyclage de déchets plastiques ! En décembre 2025, des chercheurs de l'université d'Édimbourg ont montré dans la revue spécialisée en chimie *ChemSusChem* que cette bactérie peut, en effet, être modifiée pour transformer un composant plastique (du polytéréphtalate d'éthylène ou PET) en catéchol, une molécule utilisée dans la fabrication des pesticides et des médicaments.

« Je suis enthousiaste, l'IA est en train d'améliorer notre capacité à comprendre et à modifier la biologie, et nous n'avons pas besoin de reprogrammer entièrement un génome pour le faire », conclut James J. Collins. Domestiquer l'intelligence naturelle grâce à l'intelligence artificielle… bel exemple de l'intelligence humaine. ■ **Nicolas Gutierrez C.**

Moins surveillé, le kakapo se porte mieux

Les scientifiques néo-zélandais ont observé un nombre de naissances record en allégeant leurs interventions auprès de ce perroquet emblématique. Un pari inédit qui permettra d'assurer sa survie.

« *Certains des oisillons nés cette année resteront sans nom* », confie Andrew Digby, conseiller scientifique au Département de la conservation (DOC) de Nouvelle-Zélande, l'agence gouvernementale chargée de la protection de la nature. Rangi, Nog, Aparima… jusqu'à 2026, chacun des 235 strigops kakapos recensés était nommé. Une nouvelle génération anonyme incarne un tournant majeur vers un modèle de conservation moins interventionniste et, à terme, plus durable.

Le kakapo, étrange perroquet nocturne et incapable de voler, était autrefois très répandu en Nouvelle-Zélande. Mais la chasse, la perte d'habitat et les prédateurs introduits par les humains ont décimé ses populations. En 1995, alors qu'il ne restait que 51 individus, le gouvernement et le peuple maori Ngai Tahu ont mis sur pied l'un des programmes de rétablissement les plus rigoureux de la planète. Trois décennies plus tard, il est toujours « *en danger critique* », mais l'arrivée du printemps austral marque la fin d'une saison de reproduction record. « *Nous avons produit des oisillons avec beaucoup moins d'interventions que lors des saisons précédentes* », assure Andrew Digby. De la Saint-Valentin à la fin mars, quelque 80 femelles ont pondu 258 œufs, 106 oisillons ont éclos et 91 étaient toujours vivants à la mi-juin. « *Le kakapo devient "juvénile" à l'âge de 150 jours, c'est à ce moment qu'il est officiellement comptabilisé* », confirme le conseiller scientifique. Ainsi, depuis la mi-juillet, la population mondiale de l'oiseau ne cesse d'augmenter.

4
kilogrammes
Le poids que le mâle peut atteindre, soit l'équivalent d'un chat domestique.

60 à 90 ans
La longévité estimée du kakapo.

Des périodes de reproduction tous les deux à quatre ans

« *C'est un succès non seulement pour le nombre d'individus, mais aussi dans l'évolution vers une gestion moins intensive de l'espèce* », note Deidre Vercoe, responsable des opérations de protection du kakapo au DOC. Longtemps, sauver le kakapo a exigé une intervention humaine de tous les instants, jusqu'à équiper chaque individu d'un transmetteur pour suivre et veiller sur chacun d'eux. Maintenant, les scientifiques commencent enfin à lever le pied. « *Sur l'une des trois îles sanctuaires, nous testons déjà une approche à faible intervention. Dix oisillons sont surveillés à distance, avec des visites espacées d'un à deux mois. Cela fait partie de notre apprentissage.* » Et ce n'est pas tout : les équipes ont réduit le nourrissage complémentaire, jusqu'ici indispensable, et laissé davantage de mères élever plusieurs oisillons.

Les années de reproduction du kakapo sont toujours très attendues, car elles n'arrivent que tous les deux à quatre ans, à la suite d'épisodes de fructification massive du rimu, un conifère endémique. De plus, lorsque les femelles pondent, l'infertilité et la mortalité embryonnaire réduisent le succès reproducteur à un seul œuf sur trois. « *Nous voulons faire croître la population, mais aussi préserver la diversité génétique,* précise Deidre Vercoe. *Le but ultime reste de réintroduire le kakapo dans des sites sans prédateurs pour qu'il forme des populations autosuffisantes.* » ■

Jean-Philip Rousseau

SHUTTERSTOCK

SHUTTERSTOCK

Dépression

La révolution des traitements express

Et si on soignait la dépression résistante en reprogrammant les circuits cérébraux ? Ultrasons focalisés, stimulation magnétique accélérée et psychédéliques ouvrent la voie à des thérapies en cinq jours, avec moins d'effets secondaires, mais qui sont encore en cours d'évaluation clinique. Exploration.

Par Nicolas Gutierrez C.

Traiter une dépression en cinq jours plutôt qu'en plusieurs semaines : cette perspective, longtemps inimaginable, commence à prendre corps. Une révolution potentielle pour une maladie dont la prise en charge repose, depuis plus d'un demi-siècle, sur des antidépresseurs à l'action lente. L'ombre de la dépression, elle, ne cesse de progresser. En 2023, les formes sévères de cette maladie psychique concernaient 236 millions de personnes dans le monde, soit plus du double qu'en 1990, selon un vaste panorama de la santé mentale publié cette année dans *The Lancet*. Or les traitements actuels montrent leurs limites. Ils nécessitent souvent une prise quotidienne pendant plusieurs mois, provoquent fréquemment des effets secondaires (baisse de libido, troubles du sommeil, fatigue chronique…) et laissent près d'un tiers des patients dans une impasse thérapeutique : leur dépression résiste aux traitements disponibles. Quant à leur efficacité, elle reste débattue.

Selon une étude publiée en 2022 dans le *British Medical Journal* (BMJ), leur effet antidépresseur serait supérieur à celui d'un placebo chez seulement 15 % des participants à des essais cliniques. Face à ce constat, plusieurs équipes défendent désormais une approche radicalement différente. Plutôt que d'atténuer peu à peu les symptômes grâce à une médication quotidienne, elles cherchent à réinitialiser temporairement les circuits cérébraux impliqués dans la maladie. Ultrasons focalisés, stimulation magnétique transcrânienne accélérée, ▸

ENTRETIEN

LUCIE BERKOVITCH

PSYCHIATRE ET CHERCHEUSE À L'HÔPITAL SAINTE-ANNE (PARIS)

« Les psychédéliques augmentent la plasticité cérébrale »

Quel est l'effet principal de la psilocybine sur le cerveau ?
Cette molécule active fortement un récepteur de la sérotonine appelé 5-HT2A. Elle provoque une forme de désynchronisation de l'activité cérébrale : certaines régions habituellement très connectées entre elles le deviennent moins, tandis que d'autres établissent des connexions inédites. L'activité de plusieurs

L. BERKOVITCH

structures est également modifiée, notamment celle de l'amygdale, impliquée dans le traitement des émotions. Chez les personnes déprimées, cette région présente souvent une activité anormale. La psilocybine semble réactiver la vie émotionnelle des patients chez qui elle est parfois émoussée, tout en diminuant la sensibilité de l'amygdale aux informations négatives. Il en résulte un biais en faveur des émotions positives, susceptible d'expliquer le sentiment d'exaltation et de bien-être caractéristique des effets aigus des psychédéliques.

Outre l'aspect émotionnel, quelles sont les conséquences de cette désynchronisation ?
Il y a un effet sur ce qu'on appelle le réseau du « mode par défaut », un ensemble de régions du cerveau qui s'activent quand on ne fait rien, quand on divague, qu'on pense à soi. Ce réseau a tendance à être hyperactivé quand on a des ruminations. Et il semble être moins activé quand on est sous psychédélique, de ce fait on est moins focalisé sur soi, et plus sur le monde extérieur. Cela pourrait expliquer la diminution des ruminations et des boucles mentales

▸ voire recours à des drogues psychédéliques comme les champignons hallucinogènes, figurent parmi les pistes les plus intéressantes. Si ces approches tiennent leurs promesses, quelques jours de cure suffiraient à obtenir des effets qui exigeaient jusqu'ici des semaines.

Des ultrasons propagés dans les tissus cérébraux profonds

Un de ces traitements a été imaginé à Paris, à l'Institut de physique pour la médecine, reconnu mondialement pour ses outils à ultrasons. C'est ici que l'équipe de Jean-François Aubry a développé un dispositif qui utilise ces ondes à très haute fréquence pour stimuler le cerveau en profondeur, et ainsi atténuer les symptômes de la dépression. *« Cette approche est inspirée de l'électroconvulsivothérapie, anciennement connue comme électrochocs, où on déclenche une crise d'épilepsie pour stimuler le cerveau. C'est la technique la plus efficace contre la dépression résistante, mais il y a des effets secondaires importants,* rappelle-t-il. *Alors qu'avec les ultrasons, on parvient à stimuler le cerveau en profondeur de façon non invasive et sans causer ces effets indésirables, c'est vraiment unique. »* Les ultrasons peuvent, en effet, se propager dans les tissus pour stimuler à distance les zones du cerveau impliquées dans la dépression.
C'est notamment le cas de la région cingulaire subcalleuse, située à la base du cerveau : son activation par la stimulation cérébrale profonde est très efficace contre la dépression résistante, mais cela implique l'implantation d'électrodes en profondeur, et donc une chirurgie très invasive. Alors que les ultrasons, eux, atteignent cette région sans chirurgie. Avec cette approche, Jean-François Aubry et son équipe sont parvenus à réduire la sévérité de la dépression d'environ 60 % en à peine cinq jours, selon une première démonstration réalisée sur cinq patients et publiée dans *Brain Stimulation,* en mai 2025. *« Le plus important pour nous, c'est que le traitement a été bien toléré par les patients, sans effet secondaire grave,* précise-t-il. *Et la cerise sur le gâteau, c'est qu'on a commencé à avoir une amélioration. »*

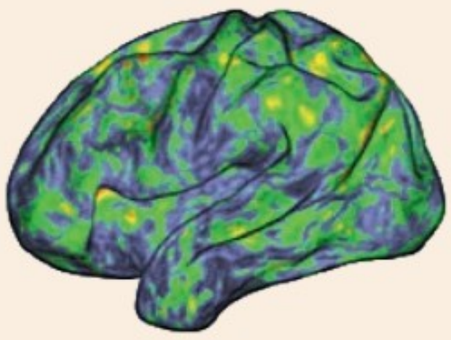
Une lentille acoustique en silicone pour adapter le signal

Mais comment les ultrasons stimulent-ils le cerveau ? Ces ondes à très haute fréquence — inaudibles — peuvent avoir une action mécanique : lorsqu'elles sont focalisées sur un point précis, elles exercent une pression, dont l'intensité est mesurée par l'index mécanique. C'est ainsi qu'elles sont utilisées, par exemple, pour détruire des calculs rénaux. Pour traiter la dépression, cette pression doit être 10 fois plus faible afin de ne pas endommager les tissus. Même légère, elle permet de stimuler des canaux mécanosensibles dans les neurones, entraîne un influx de calcium et déclenche des potentiels d'action activant ces cellules. Les ondes sont émises

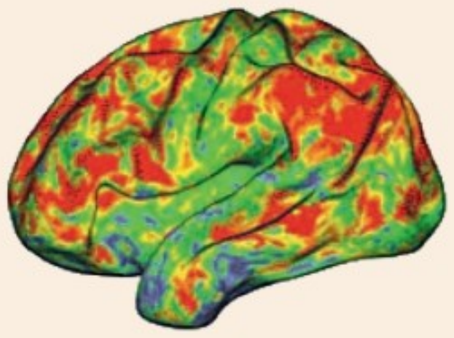
observées chez les patients. Et il y a une augmentation de la neuroplasticité : il y a plus de connexions physiques entre les neurones, comme un arbre qui créerait de nouvelles branches. Et cet effet se poursuit pendant des semaines.

Quelle différence avec l'eskétamine, autre psychotrope récemment autorisé pour traiter la dépression résistante ?
Cette forme de kétamine en spray intranasal est un type de molécule différent, utilisé couramment comme anesthésique. Elle agit sur un autre neurotransmetteur, le glutamate. Ces effets sur le cerveau sont donc différents : elle cause plutôt une sensation de déconnexion, de dissociation, un peu comme dans un état cotonneux. Mais cet effet dure seulement quelques jours et les symptômes de dépression réapparaissent, si bien qu'on l'administre de manière répétée, sous forme de cure, deux à trois fois par semaine, en parallèle de la mise en place d'un traitement antidépresseur, afin que ce dernier puisse prendre le relais de l'effet court terme de la kétamine. Alors qu'avec les psychédéliques, les données vont dans le sens d'une efficacité qui dure de plusieurs semaines à plusieurs mois. ■

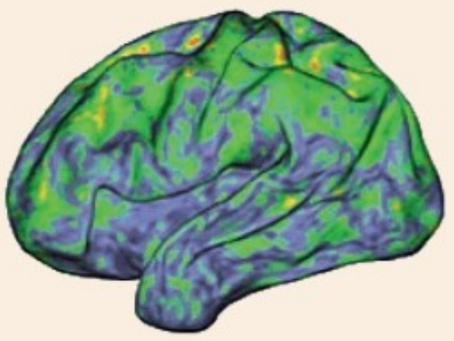
Propos recueillis par N.G.C.



Avant le traitement
Au repos, l'activité cérébrale varie peu d'un moment à l'autre. Les zones vertes et bleues traduisent cette relative stabilité.



Pendant le « trip »
L'hyperactivation des réseaux cérébraux (rouge et orange) due à la psilocybine bouleverse temporairement l'activité cérébrale.



Après le traitement
Quelques jours plus tard, le cerveau au repos présente de légères modifications corrélées à un effacement des symptômes dépressifs.

SARA MOSER/WASHINGTON UNIVERSITY SCHOOL OF MEDICINE IN SAINT LOUIS

par un transducteur placé sur le front du patient, avec une « lentille acoustique » en silicone qui adapte le signal à l'épaisseur du crâne. *« La vitesse des ultrasons à travers l'os est deux fois plus grande que dans les tissus mous, ils vont donc accélérer, mais d'une façon variable, car la densité du crâne n'est pas homogène,* détaille Jean-François Aubry. *La lentille ralentit les ultrasons pour corriger cet effet et homogénéiser le signal. »*
Les premiers prototypes de ce transducteur nécessitaient 512 câbles pour ajuster manuellement les temps d'émission de chaque signal. Le dispositif a depuis été optimisé par l'entreprise SonoMind (créée par Jean-François Aubry et des collègues), avec une approche personnalisable : en plus de la lentille qui s'ajuste au crâne du patient, un masque adapté au visage facilite le placement du transducteur. *« Grâce au masque, le patient peut bouger la tête durant le traitement, le transducteur suit ses mouvements, c'est plus confortable »,* abonde Thomas Tiennot, cofondateur de SonoMind. Ce dispositif amélioré devrait être testé lors d'un essai clinique avec une plus grande cohorte de patients afin de confirmer son efficacité. L'objectif est d'obtenir un marquage CE pour une commercialisation dès 2029. Si ces ultrasons focalisés illustrent l'essor des technologies de neuromodulation, la révolution pourrait aussi venir d'un candidat bien moins futuriste : un champignon hallucinogène utilisé depuis des millénaires.

J.-F. AUBRY

« Cette approche est inspirée de l'électroconvulsivothérapie, anciennement connue comme électrochocs »

Jean-François Aubry, directeur de recherche CNRS à l'Institut de physique pour la médecine (Paris)

Plusieurs centaines de patients traités avec de la psilocybine

La psilocybine, son principal composé actif, s'impose aujourd'hui comme l'une des pistes les plus prometteuses contre la dépression résistante. *« Les psychédéliques sont comme des super antidépresseurs : c'est puissant et ça agit très vite »,* s'exclame Michel Sabé, médecin psychiatre aux Hôpitaux Universitaires de Genève. Avec son équipe, il a déjà traité plusieurs centaines de patients avec de la psilocybine, grâce à l'autorisation d'accès compassionnel permise par la loi suisse sur les stupéfiants. Les résultats d'un essai sur une centaine d'entre eux, publiés dans ▶

GARO/PHANIE

Les impulsions magnétiques délivrées à travers le crâne modifient l'activité des neurones, avec à la clé une baisse de la sévérité de la dépression qui peut atteindre les 70 %.

Psychiatry Research, montrent une réduction de l'intensité des symptômes de la dépression après une seule prise chez la majorité des patients (avec une diminution supérieure à 50 % chez un tiers d'entre eux). Un des avantages de cette approche, c'est qu'elle facilite la psychothérapie, en permettant aux personnes de travailler sur les causes de leur état psychique pour tenter de résoudre le problème à la racine. *« On dirait que le cerveau devient moins rigide, c'est le moment idéal pour travailler sur les obsessions, la rumination, les échecs, les traumatismes,* détaille-t-il. *En plus, on voit qu'il y a une reconnexion avec le monde. Quand on est déprimé, on a tendance à se renfermer sur soi. Les psychédéliques brisent cet enfermement, on sent davantage son corps et on est plus conscient du monde qui nous entoure. »* La limite principale de ce traitement, qu'elle partage avec les ultrasons, est le manque de recul sur ses effets à long terme.

Cinq séances quotidiennes pendant cinq jours

Si les psychédéliques incarnent l'une des pistes pharmacologiques les plus prometteuses, d'autres équipes poursuivent une approche technologique. En février, des chercheurs de l'université de Californie à Los Angeles (Ucla) ont présenté dans le *Journal of Affective Disorders* une approche de stimulation magnétique qui parvient à faire en cinq jours ce qui prend d'ordinaire entre six et huit semaines. Cette méthode consiste à administrer des impulsions magnétiques intermittentes à travers le crâne. Celles-ci stimulent les neurones situés dans ce champ magnétique, contrairement aux ultrasons qui peuvent aller en profondeur. Mais avec un même effet : l'atténuation robuste et rapide de la sévérité de la dépression. *« La zone stimulée est le cortex préfrontal dorsolatéral, qui est impliqué dans le raisonnement et la planification,* précise Michael Apostol, doctorant à l'Ucla et auteur de l'étude. *Mais cette région possède des connexions avec d'autres parties du cerveau, donc en la stimulant, il est probable qu'on modifie aussi l'activité de ces autres zones plus en profondeur. »*

La stimulation magnétique transcrânienne avait déjà montré son efficacité contre la dépression, mais avec des traitements relativement longs et contraignants. Le patient devait se rendre chaque jour dans un centre de santé, pendant près de deux mois, pour des séances quotidiennes, un rythme difficile à tenir pour des personnes souffrant de dépression sévère. La nouvelle version accélérée augmente le nombre d'impulsions — qui passent de 600 à 1800 — durant chaque séance, avec cinq séances quotidiennes pendant cinq jours.

Pourtant, ses résultats sont comparables à ceux du traitement long, c'est-à-dire une baisse de la sévérité de la dépression qui peut atteindre les 70 %. *« Normalement, les patients doivent prendre des antidépresseurs pendant des années, alors qu'avec la stimulation magnétique, on pourrait atteindre des effets similaires après une seule semaine de traitement,* s'enthousiasme Michael Apostol. *Mais il reste une question essentielle : cet effet est-il durable ? Nous n'avons pas encore assez de recul pour y répondre. Il nous faut plus d'études de long terme pour confirmer que cet effet perdure. Car le but est que les personnes n'aient pas besoin de revenir après le traitement. »* ■

IMMUNOTHÉRAPIE

Dépression résistante : l'inflammation dans le viseur des chercheurs

Près d'un tiers des personnes souffrant de dépression résistante aux antidépresseurs présentent une inflammation chronique avec, en particulier, des niveaux élevés de protéines pro-inflammatoires comme l'interleukine 6. Des chercheurs des universités de Bristol, Cambridge et du University College de Londres ont donc testé une immunothérapie ciblant ces molécules responsables de l'inflammation. Leur essai clinique, publié en mai dans *JAMA Psychiatry,* montre qu'une perfusion de l'anticorps tocilizumab réduisait des symptômes comme la fatigue, le pessimisme ou le manque de concentration, d'appétit et d'énergie. Cette approche pourrait compléter d'autres traitements chez ces patients, mais des études plus larges restent nécessaires pour confirmer ces résultats encourageants.

Une opération inédite pour recouvrer la vue

À Turin, des chirurgiens ont rendu une partie de sa vision à une patiente aveugle, en utilisant pour la première fois une autogreffe de macula. Une prouesse médicale qui reste à valider scientifiquement.

Reconstruire un œil fonctionnel à partir de deux yeux aveugles. C'est la prouesse chirurgicale revendiquée par une équipe de l'hôpital Molinette de Turin en Italie. Ce cas clinique inédit concerne une patiente de 67 ans, Elena, totalement aveugle depuis plus de cinq ans après un grave accident de la route. L'intervention, présentée par la Cité de la santé et de la science, le plus grand pôle hospitalo-universitaire de Turin (Italie), a consisté à transférer un bloc complet de tissus d'un œil vers l'autre, comprenant pour la première fois la macula — la région centrale de la rétine indispensable à la vision fine. De quoi permettre à cette patiente de recouvrer une partie de sa vision.

La situation d'Elena était exceptionnelle. Lors de son accident, son œil gauche avait perdu toute fonction visuelle en raison d'une lésion irréversible du nerf optique, le faisceau de fibres nerveuses qui transmet les informations visuelles de l'œil au cerveau ; mais les structures du globe oculaire demeuraient intactes. À l'inverse, son œil droit, déjà atteint d'une maculopathie, avait subi des traumatismes détruisant la rétine et altérant la transparence de la cornée.

L'idée du professeur Michele Reibaldi, directeur du département d'ophtalmologie de l'université de Turin a été d'utiliser les tissus encore sains de l'œil gauche — impossible à réparer — pour reconstruire le droit. Avec son équipe, il a ainsi transféré, en un seul bloc, la cornée, la sclère, la conjonctive et surtout la macula. L'objectif de ce « transfert biologique » n'était pas de greffer un œil entier, mais d'assembler les éléments encore fonctionnels des deux yeux afin d'en créer un capable de voir.

PERROGON F/ANDIA.FR

Au bloc opératoire, les chirurgiens ont transféré les tissus restés fonctionnels vers l'œil droit de la patiente, dont la région centrale de la rétine (image d'illustration).

Une intervention qui a duré près de six heures

« Jusqu'à présent, il n'avait jamais été possible de transplanter la région centrale de la rétine », a souligné Michele Reibaldi lors d'une conférence de presse. Une intervention de près de six heures qui *« ouvre une nouvelle frontière de la chirurgie ophtalmologique »*, estime le spécialiste. *« Nous attendons maintenant de voir dans quelle mesure la rétine transplantée sera capable de fonctionner dans le temps, mais les premiers résultats sont encourageants. »*

De fait, fin juillet, la patiente pouvait reconnaître le visage de son fils ou distinguer son chien guide Joe et même de lire les chiffres inscrits sur des billets de banque. *« C'est comme renaître un peu,* a-t-elle déclaré à la presse italienne. *Je suis très heureuse mais je suis contrariée maintenant que je me suis regardée dans le miroir : il y a cinq ans, je me trouvais plus belle. »* Reste désormais à convaincre la communauté scientifique. Car pour l'heure, cette première mondiale n'a pas fait l'objet d'une publication. Les détails de la procédure et le suivi à long terme seront indispensables pour déterminer si elle peut bénéficier à d'autres patients. ■

H. J.

Acouphènes : la piste des circuits neuronaux

Longtemps considérés comme un simple trouble de l'oreille, les acouphènes sont aussi le résultat d'un dysfonctionnement cérébral. Cette nouvelle vision transforme la recherche et laisse enfin entrevoir des traitements efficaces pour des millions de personnes.

« *Des tonalités de téléphone, le moteur d'un frigo et des "buzz" électroniques.* » Voici comment Julien, 28 ans, décrit la cacophonie qui rythme sa vie depuis plus d'un an. Après une période de crise, ce programmeur passionné de musique a dû s'adapter à cette affection chronique et aux limitations qu'elle implique :

« Mes acouphènes deviennent encore plus forts avec le bruit ambiant. À l'aide de bouchons d'oreilles sur mesure, je peux tolérer les transports en commun et les restaurants peu bruyants. Au travail, ma concentration reste affectée. J'ai renoncé aux concerts, trop risqués ; j'ai perdu une partie de moi-même. »

Une méta-analyse publiée en 2025 estimait que les tentatives de suicide étaient deux fois plus fréquentes chez les acouphéniques. Les thérapies disponibles *(lire p. 53)* permettent de soulager la détresse des patients, mais ne font pas taire ces sons fantômes. Les patients, eux, attendent toujours leur cure.

La première piste thérapeutique date pourtant des balbutiements… de l'électricité ! En 1801, le Dr Grapengiesser (1773-1813), un chirurgien allemand, s'aventure à introduire, dans le conduit auditif de ses patients, une électrode primitive : un fil de métal relié à une pile en plaques de zinc et d'argent, stimulant ainsi le nerf auditif. Il observe que le processus atténue ou intensifie les acouphènes de ses sujets. Presque deux siècles plus tard, l'expérience inspirera une technologie destinée aux personnes sourdes : l'implant cochléaire. L'appareil se compose d'un processeur externe qui capte et traite les sons avant de les transmettre au nerf auditif via une électrode implantée dans la cochlée, une structure en spirale de l'oreille interne. *« Lorsqu'il est activé, l'implant cochléaire atténue l'acouphène chez une majorité de porteurs (…) C'est notamment lié à la stimulation du nerf auditif »*, explique Kelly Assouly, chercheuse au sein de l'entreprise Cochlear et affiliée au centre médical universitaire d'Utrecht (Pays-Bas). Mais l'implant est réservé aux patients profondément sourds et pour cause : l'opération détruit l'audition naturelle.

L'essai clinique que dirige Kelly Assouly pourrait néanmoins changer la donne, grâce à un prototype conçu pour les normo-entendants : *« Cet implant déclenche la stimulation, mais avec une électrode moins invasive qui n'endommage pas l'audition »*, assure la scientifique. Une poignée de volontaires sont déjà équipés, sur les 16 participants à cet essai

4,9 millions
de Français souffrent d'acouphènes permanents.
(SOURCE : PESA, 2024)

12 mds d'euros
Le coût total estimé, par an, des acouphènes (hors arrêts maladie).
(SOURCE : PESA, 2024)

TESSA KRAAN

Ce bonnet muni d'électrodes stimule certaines zones du cerveau à l'aide de faibles courants électriques. Une technique indolore et non-invasive actuellement testée contre les acouphènes, comme ici à la clinique Brai3n de Gand (Belgique).

lancé en 2025. Reste que l'effet de la stimulation électrique de l'oreille interne n'est pas tout à fait compris, de même que la mécanique des sons fantômes. À leur origine, il y a généralement un dommage de l'oreille interne — traumatisme sonore, pathologie ou médicament — , souvent sur un terrain de stress. Quand une fréquence disparaît du répertoire, le système perd un relais du son… et du silence ! Car le nerf auditif ne conduit pas que l'excitation, mais aussi l'inhibition. La suite se joue alors plus haut… aux tout premiers paliers des voies auditives du cerveau. Le traumatisme semble semer le trouble dans une aire cérébrale de la taille d'un petit pois, premier relais du nerf auditif : le noyau cochléaire dorsal. Ses neurones entonnent en chœur un brouhaha électrique : c'est l'hypersynchronie.

Affaiblir la charge synaptique des neurones pour les calmer

Ce cadre théorique a ouvert la voie à l'équipe de Susan Shore, professeur d'oto-rhino-laryngologie à l'université du Michigan (États-Unis), pour cibler le dysfonctionnement à sa source. En 2023, les chercheurs ont testé un dispositif mobilisant la plasticité du cerveau — sa capacité à réarranger ses connexions. Son principe, la stimulation bimodale, exploite une particularité du noyau cochléaire dorsal : il est innervé par les nerfs de la mâchoire, du visage et du cou. Raison pour laquelle certains acouphènes, dits « somatosensoriels », varient avec les mouvements de la mâchoire ou de la tête.

L'appareil du Michigan délivre deux signaux à quelques millisecondes d'intervalle : un stimulus transmis à la mâchoire par une électrode, suivi d'un signal sonore. Les neurones traitent cet événement double comme un bug à rectifier, et affaiblissent leur charge synaptique. Les résultats sont prometteurs : certains sujets atteignent 75 % de réduction, contre 25 % pour le placebo. Pourtant, le dispositif se fait attendre : Auricle, sa société commerciale, est encore en quête d'in-

D. DE RIDDER

« Pour qu'il y ait un acouphène, l'hyperactivité auditive ne suffit pas : elle doit être encodée par les réseaux de la conscience »

Dirk De Ridder, professeur de neurochirurgie et fondateur de la clinique de neuromodulation Brai3n à Gand (Belgique)

vestisseurs et d'approbation par la FDA américaine. Ainsi, d'autres chercheurs se tournent vers la pharmacologie.
C'est le cas de Thanos Tzounopoulos, professeur en physiologie de l'audition et fondateur du Pittsburgh Hearing Research Center, aiguillé par une observation plus fine encore des mécanismes impliqués, au neurone près. *« Les neurones parlent entre eux : c'est ce qui détermine leur activité. Mais ils s'excitent aussi tout seuls, sans leurs voisins. En cas d'acouphènes, leur fréquence de décharge est trop élevée : c'est l'hyperexcitabilité. »* À son origine, une panne du système d'équilibrage électrique. Celui-ci repose sur des pompes à ions, les canaux potassiques, prêts à ouvrir leurs vannes pour neutraliser les charges de part et d'autre de la membrane des neurones. *« Chez les souris acouphéniques, ces canaux ne s'ouvrent plus assez : le système de freinage est donc déficient »*, explique le chercheur. Une expérimentation fortuite avait corroboré cette observation, il y a quinze ans. Des patients avaient rapporté sur un forum qu'un antiépileptique prescrit hors indication, la rétigabine, atténuait remarquablement leurs acouphènes, avant qu'elle ne soit retirée du marché, en 2017, pour effets indésirables lourds. Son mode d'action : ouvrir grand les valves de ces canaux. Thanos Tzounopoulos en est donc convaincu : la clé se trouvera dans un ouvreur potassique plus ciblé. *« Une molécule très similaire est en phase de test chez l'humain pour d'autres affections neurologiques. Nous sommes sur le point d'ouvrir un essai clinique pour la tester sur les acouphènes. »*

Des dysrythmies cérébrales qui varient d'un sujet à l'autre

Alors que ces pistes visent le tronc cérébral, d'autres fleurissent plus haut. Car une fois amorcé, le tumulte se propage jusqu'au cortex auditif, siège de la perception du son. Celui-ci a concentré les efforts du laboratoire fondé par Daniel Polley au sein du Massachusetts Eye and Ear Institute d'Harvard. Il s'est penché sur le rôle de cellules spécifiques du cortex, les interneurones à parvalbumine (PV+), qui fabriquent des protéines régulatrices : *« Ces cellules jouent un rôle clé dans la stabilisation de l'activité des réseaux neuronaux. Le vieillissement et la perte d'entrée cochléaire altèrent leurs capacités »*, pointe-t-il. L'an dernier, son équipe a pu réactiver les interneurones PV+ de souris après un traumatisme sonore, résorbant leur hypersensibilité au son. Daniel Polley suspecte aussi le rôle des cellules immunitaires du cerveau. Galvanisées par l'hyperactivité et le manque de sommeil, elles attaqueraient les interneurones PV+. *« L'acouphène refléterait un état où la réduction des entrées sensorielles, l'affaiblissement de l'inhibition, l'activité spontanée anormale, les systèmes d'éveil et les réactions inflammatoires se renforcent mutuellement »*, résume-t-il.
D'un relais à l'autre, la focale s'élargit, jusqu'à appréhender l'acouphène comme un défaut de cadence global. *« Ça a d'abord été un problème d'oreille, puis de cortex auditif. Aujourd'hui, c'est un problème de réseau »*, affirme Dirk De Ridder, professeur de neurochirurgie et

MÉDECINE

Quand le bruit devient douleur

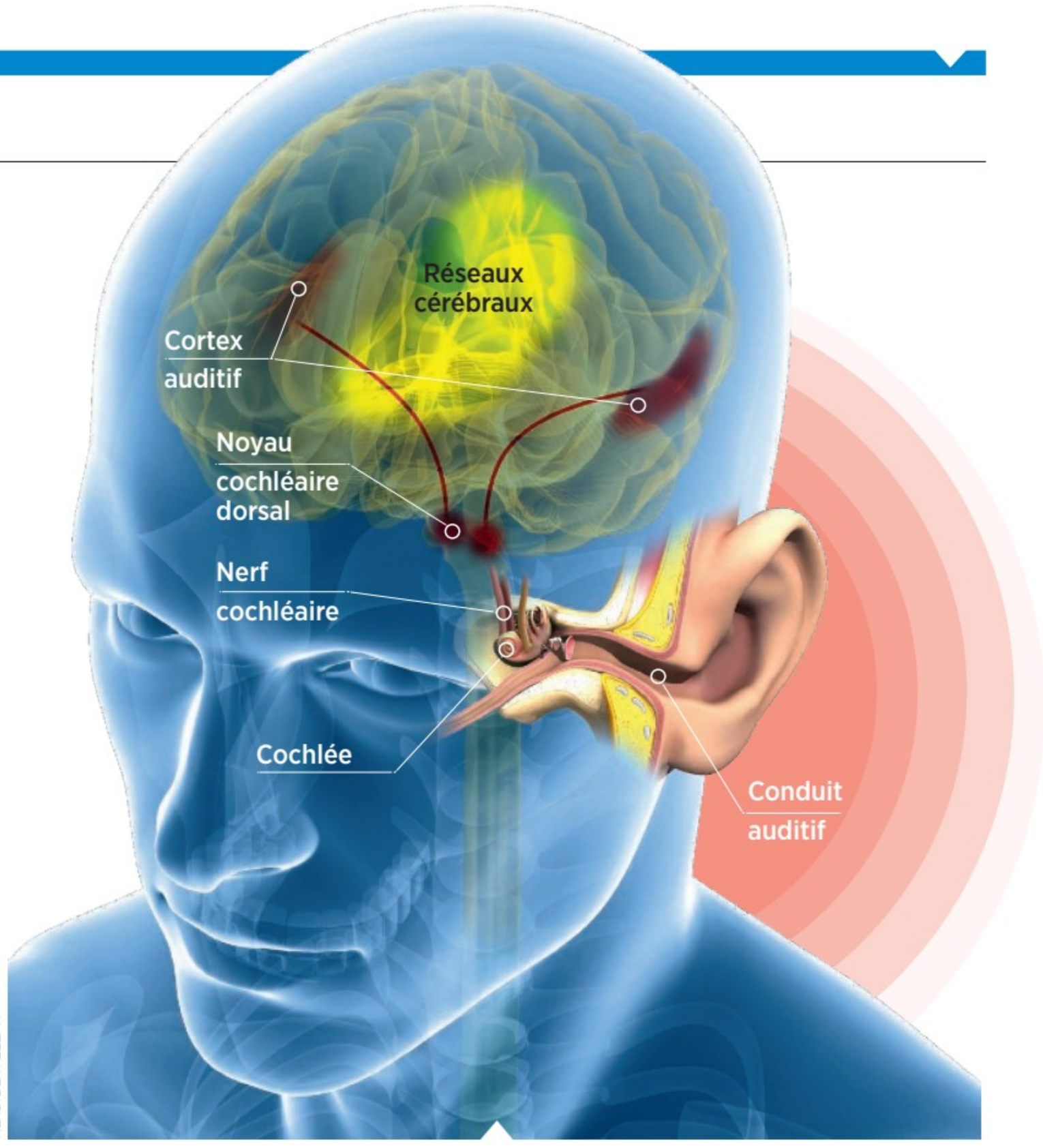
« Les sons me piquent comme des aiguilles brûlantes. Les douleurs s'étendent à ma mâchoire. À un moment, ma propre voix me faisait mal. Je vis en cage. » Depuis trois ans, Barbara Bertin souffre d'hyperacousie, un trouble souvent associé aux acouphènes. Selon les études, cette comorbidité concernerait 20 à 70 % des patients. Arnaud Norena, directeur de recherche CNRS au laboratoire de neurosciences cognitives de l'université d'Aix-Marseille, s'intéresse aux mécanismes communs aux deux affections. Il a notamment formalisé l'hypothèse de la plasticité homéostatique : après une lésion de l'oreille interne, le cerveau compenserait la perte de signal en augmentant le « gain » des voies auditives. Conséquence : des sons ordinaires deviennent anormalement intenses, voire insupportables. Ainsi, le son d'un un simple aspirateur pourrait être perçu aussi fort qu'un avion au décollage. *« L'hyperacousie peut prendre une forme douloureuse »*, confirme le chercheur. Une inflammation du muscle tenseur du tympan irriterait alors le nerf trijumeau, impliqué dans la perception de la douleur au niveau du visage. Arnaud Norena explore désormais les liens entre hyperacousie, troubles du spectre autistique et syndrome de Williams, deux pathologies où l'hypersensibilité aux sons est fréquente, dans l'espoir d'identifier des mécanismes biologiques communs.

HYPERACOUSIE SOLIDARITÉ

Le casque antibruit fait partie du quotidien de Barbara Bertin, présidente d'Hyperacousie Solidarité.

fondateur de la clinique de neuromodulation Brai3n à Gand (Belgique). Car les aires cérébrales « vibrent » en rythme. Ces oscillations leur servent de langage commun, pour se synchroniser et s'inhiber mutuellement.

À partir de centaines d'électroencéphalogrammes, Dirk De Ridder a mis en évidence des défauts d'orchestration propres aux acouphéniques. La dysrythmie se joue entre le cortex auditif, le système limbique — qui évalue si un signal mérite attention —, et le réseau par défaut, siège de la représentation de soi. *« Pour qu'il y ait un acouphène, l'hyperactivité auditive ne suffit pas : elle doit être encodée par les réseaux de la conscience »*, précise-t-il. Mais ces dysrythmies varient d'un sujet à l'autre, composant différents sous-types. *« Nous avons un jeu de données d'environ 2500 encéphalogrammes, que nous analyserons en cluster grâce à l'IA, pour identifier des profils cérébraux »*, assure le neurochirurgien.



MEHDI BENYEZZAR

Les sons fantômes résultent d'un dérèglement des voies auditives, de la cochlée au cortex auditif, puis aux aires cérébrales associées à la perception.

Établir une cartographie des stratégies de neuromodulation

Cette cartographie pourrait guider les futures stratégies de neuromodulation. La stimulation cérébrale profonde a déjà été testée entre 2017 et 2025 chez quelques patients, équipés sur des régions du système limbique, attentionnel et du thalamus. Mais dans ces minuscules cohortes, les résultats varient du tout au rien, pour une intervention lourde. Le Medical Institute of Bioengineering d'Oxford (Royaume-Uni) espère lever cet obstacle grâce aux promesses… du son. La stimulation cérébrale par ultrasons (TUS) consiste à délivrer des salves d'ultrasons vers des aires ciblées. Déjà expérimentée pour diverses affections neurologiques, elle sera testée cette année sur les acouphènes. William Sedley, professeur de neurosciences auditives à l'université de Newcastle, visera trois régions avec un rythme de salves inhibiteur. *« La TUS permet de viser aussi précisément qu'une électrode plantée dans le cerveau, comme dans la stimulation cérébrale profonde. Tout cela sans ouvrir le crâne du patient »*, détaille le chercheur, associé à l'université d'Oxford pour ce projet.

Quoi qu'il en soit, à mesure que la carte des circuits impliqués se précise, une évidence émerge : il n'existe sans doute pas un acouphène, mais des acouphènes. *« La priorité est désormais d'identifier les différents profils de patients et les mécanismes biologiques qui leur sont propres »*, résume Arnaud Norena, directeur de recherche CNRS au laboratoire de neurosciences cognitives de l'université d'Aix-Marseille. Selon qu'ils prennent naissance dans l'oreille interne, le tronc cérébral ou les réseaux de la conscience, ils appelleront demain, sans doute, des traitements différents. ■ **Nell Saignes**

THÉRAPIES

Une prise en charge aux effets limités

En l'absence de traitement curatif, les patients sont orientés vers des thérapies cognitivo-comportementales, parfois associées à des anxiolytiques et antidépresseurs, des techniques de relaxation (hypnose, méditation…) ou, lorsque les acouphènes sont liés à un trouble de la mâchoire ou du cou, une kinésithérapie. Les ORL peuvent aussi proposer une thérapie sonore : des appareils auditifs diffusant un son pour le masquer ou l'atténuer. Si ces approches améliorent la qualité de vie, elles ont peu d'effet sur la perception du bruit lui-même. Aucun médicament ni complément alimentaire n'a, à ce jour, démontré son efficacité. Quant au dispositif Lenire, qui délivre des stimulations électriques sur la langue, son efficacité reste débattue malgré son autorisation dans l'UE depuis 2019.

Céréales du petit-déjeuner, comment s'y retrouver

Soufflées, fourrées ou enrobées, elles figurent dans près des deux tiers des foyers français. Derrière leur praticité se cachent pourtant des profils nutritionnels très contrastés.

Les céréales du matin sont pour beaucoup de petits et grands une solution express de petit-déjeuner pour bien entamer la journée. En 2024, 64 % des foyers français en ont ainsi mis dans leur caddie (1). Toutefois, souvent trop sucrées et jugées peu rassasiantes, elles sont pointées du doigt pour leurs mauvaises qualités nutritionnelles.

Les grains (maïs, blé, orge, etc.) cuits sont aplatis entre deux cylindres (laminage) pour fabriquer les pétales, puis ceux-ci sont séchés et toastés, ce qui leur confère du croustillant. Les céréales soufflées sont produites par cuisson-**extrusion**. Les grains entiers sont d'abord broyés en farine et mélangés à du sucre et à de l'eau pour obtenir une pâte. Celle-ci est entraînée dans un extrudeur où, soumise à une pression et à une température (200 °C) élevées, elle devient plastique et malléable. Lors de cette étape, une garniture (chocolat, caramel, noisette, etc.) crémeuse peut être injectée pour la réalisation de céréales fourrées. La pâte est ensuite découpée en diverses formes (anneaux, étoiles, etc.). À la sortie de l'extrudeur, la pression chute brutalement, ce qui fait gonfler la pâte cuite. Celle-ci est ensuite séchée et éventuellement enrobée (miel, chocolat, etc.).

28 g

La portion de céréales du petit-déjeuner consommée par les enfants, contre 38,6 g pour les adultes.

(SOURCE : SYNDICAT FRANÇAIS DES CÉRÉALES DU PETIT-DÉJEUNER)

Beaucoup de sucres, peu de satiété

Il faut compter de 0,5 à 40 g de sucres par portion de 100 g, en fonction des marques. En conséquence, seules 2,4 % des céréales pour enfants détiennent un bon

SHUTTERSTOCK

EXTRUSION Procédé de mise en forme alimentaire qui consiste à transformer une matière pâteuse en un produit de forme déterminée en la poussant, sous pression, à travers une ouverture appelée « filière. »

MUESLI Mélange composé de flocons (avoine, blé, orge…), de fruits secs, de graines et d'oléagineux. À ne pas confondre avec le granola, dont les ingrédients sont liés avec du miel et de l'huile, puis cuits au four.

CADMIUM Métal lourd présent dans les sols, en particulier sur des roches calcaires, et dans les engrais minéraux phosphatés. Il est aussi rejeté dans l'air dans les rejets de certaines industries (métallurgie, etc.).

Nutri-Score (A ou B) — contre 33,4 % pour les autres céréales du matin — alors que 7,5 % (contre 3,3 % pour les autres céréales) obtiennent un Nutri-Score E, d'après une étude basée sur l'analyse de près de 645 références vendues en France, en Belgique et au Luxembourg (3). Les températures et les pressions élevées utilisées lors de l'extrusion des céréales altèrent également la structure de l'amidon, un glucide complexe, ce qui rend les céréales du petit-déjeuner plus rapidement assimilables et réduit la sensation de satiété.

Les crueslis et les céréales fourrées sont les plus gras

Les pétales de maïs et les céréales soufflées tirent leur épingle du jeu avec, en moyenne, 1 à 1,5 g de matières grasses pour 100 g. Les céréales fourrées sont, elles, généralement beaucoup plus grasses. Par exemple, pour les Trésor de Kellogg's, au goût chocolat noisette, on compte 4 g de lipides (dont 1 g d'acides gras saturés) pour une portion de 25 g de céréales (généralement la portion minimum pour un enfant) ; et 7,20 g (dont 1,8 g d'acides gras saturés) pour une coupelle de 45 g de céréales (portion habituelle pour un adulte) (2). La teneur en acides gras des céréales fourrées s'approche des **mueslis** croustillants (ou crueslis), dont les lipides sont apportés par les fruits oléagineux (noix, noisettes, amandes) ou le chocolat. Le Cruesli Chocolat de Quaker fournit ainsi de 4,75 à 8,5 g de lipides pour des portions allant de 25 à 45 g.

Les mueslis apportent le plus de fibres

Avec un apport conseillé de 30 grammes par jour, les fibres assurent un bon transit, aident à la régulation du cholestérol et de la glycémie. Le muesli raisins figues et abricots secs de Bjorg en renferme 10 g/100 g (soit 15 % des recommandations quotidiennes, avec une portion de 45 g pour un adulte) — contre 2,2 g/100 g pour des boules de maïs au miel de la marque Carrefour. Les mueslis apportent aussi de belles quantités de protéines, 8 à 12 g/100 g selon les marques. Fibres et protéines ralentissent la vitesse de digestion des céréales et évitent les fringales de fin de matinée.

Des polluants présents à faibles doses

Les céréales du petit-déjeuner renferment 36 à 40 microgrammes d'acrylamide par kilo de poids frais (4). Cette substance classée comme « *probablement cancérogène chez l'Homme* » par le Centre international de recherche sur le cancer est aussi suspectée d'augmenter le risque de maladies cardiovasculaires (infarctus, AVC) (5) et de mortalité toutes causes confondues, notamment chez les fumeuses (6). Les céréales du matin renferment aussi du **cadmium** (28 microgrammes par kg de poids frais, soit 0,84 microgramme pour une portion de 30 g de céréales) (4), mutagène et cancérogène, et pointé du doigt pour ses effets néfastes sur les systèmes rénaux et osseux, la reproduction ou encore le cerveau. Les céréales du petit-déjeuner représentent ainsi 3 à 3,2 % de l'exposition alimentaire totale au cadmium chez les enfants, selon la troisième étude de l'alimentation totale française menée par l'Anses (EAT3). ■ **Sylvie Boistard**

CÉLINE RICHONNET Nutritionniste et coprésidente du Club européen des diététiciens de l'enfance, à Paris (75)

Il faut désucrer le petit-déjeuner

« Pratiques au quotidien mais trop sucrées, les céréales pour enfants, majoritairement extrudées (soufflées, fourrées, etc.), ne calent pas. On leur préfère des céréales entières (flocons d'avoine, petit épeautre, orge…) avec, pour une touche plus gourmande, des pépites de chocolat, des fruits, des oléagineux (amandes, noisettes) qui apportent plus de fibres rassasiantes et augmentent la mastication. À alterner, les jours sans école, avec des tartines de pain, un beurre végétal ou du fromage et un fruit frais (plutôt qu'un jus). Pour les adultes on peut y ajouter des protéines (œuf, jambon de volaille, fromage…). »

(1) Kantar Worldpanel, 2024.

(2) https://fr.openfoodfacts.org/

(3) Nutri-Score - Assessment of Modified Algorithm Impact on Breakfast Cereals Category, Richonnet C. et al., *Global Journal of Nutrition and Food Science,* 2026.

(4) Étude de l'alimentation totale française 3 (EAT3), Anses, 2026.

(5) Acrylamide Exposure and Cardiovascular Risk: a systematic review, Mérida D. M. et al, *Nutrients,* 2024.

(6) Association between dietary intake of acrylamide and increased risk of mortality in women: Evidence from the E3N prospective cohort, Marques C. et al, *Science of The Total Environment,* 2024.

Écriture
Une nouvelle histoire des signes

Origines, premiers usages, systèmes oubliés, écritures indéchiffrées… les recherches récentes modifient notre regard sur les débuts de l'écriture, l'une des plus grandes révolutions de l'humanité. Enquête sur les dernières découvertes qui bousculent sa chronologie toute tracée.

Dossier réalisé par
Victoire Constantin

REPÈRES
De l'image au son : les quatre avatars de l'écrit p. 58

ENQUÊTE
Proto-élamite, le précurseur redécouvert p. 60

ANALYSE
L'écriture et le pouvoir, une longue proximité p. 65

ÉNIGME
Ces codes anciens qui préservent leurs secrets p. 68

COLLECTION DAGLI ORTI / MUSÉE DU LOUVRE PARIS / GIANNI DAGLI ORTI / AURIMAGES

Apanage du pouvoir et outil de contrôle, l'écriture est longtemps restée le privilège d'une élite restreinte et des scribes (Thèbes, vers 525-475 av. J.-C.).

De l'image au son, les 4 avatars de l'écrit

Des pictogrammes à l'alphabet, la saga de l'écriture a longtemps été racontée en ligne droite. Désormais, on sait qu'elle n'a cessé de se réinventer, de l'image aux signes, en passant par l'alphabet et les... émojis.

L'écriture fait partie de ces concepts évidents… que l'on peine à définir clairement. Ou, plutôt, qui multiplient les définitions au point de devenir nébuleux. Elle peut être un geste, une technique, un système, une trace matérielle, etc. L'archéologie a posé sa date de naissance au IVe millénaire avant notre ère, possiblement à Sumer en Mésopotamie (mais les égyptologues renâclent), et les historiens en ont fait le point de départ de leur discipline — il n'y a que « préhistoire » en deçà, et des cohortes de « proto-écritures ». Alors qu'est-ce qu'une « vraie » écriture ? Une *« représentation de la langue parlée par des signes graphiques »*, indique l'Académie française, comme pour ce texte écrit avec un système alphabétique. Le système syllabique a, lui aussi, cette capacité à noter les sons. Mais il en existe d'autres, antérieurs, dits pictographique et idéographique, qui donnent la primauté à l'image. La théorie a longtemps voulu qu'il y ait entre eux une évolution chronologique et qualitative… une classification désormais interrogée.

Ce qui frappe, ce sont tous ces marquages qui précèdent « l'écriture », ainsi que ces transitions trop belles pour être vraies. Car tous les peuples qui ont inventé une écriture ont, en fait, créé des systèmes mixtes. Mieux : notre pinacle alphabétique n'a eu pour d'autres qu'un intérêt limité. Dès le début, le phénomène a été réfléchi, dénotant un usage déjà ancien du signe et non une rupture radicale. Ce qui se dessine, c'est un phénomène vivant, pluriel et complexe, dont nous pratiquons une forme éphémère… et pour combien de temps encore ? Alors que l'image réapparaît en force dans nos écrits, avec les émojis principalement, et que nous déléguons notre invention à l'IA, revenir sur ses quatre avatars principaux est riche d'informations.

1 Pictogrammes calqués sur le réel

Ces signes graphiques, les plus anciens et dont les premières occurrences connues ont près de 6000 ans, dessinent ce qu'ils entendent représenter. Déjà réalistes, ils vont peu à peu se styliser, et se limitent généralement à des objets concrets (moutons, esclaves, blé, etc.). Il faut donc autant de signes que d'éléments à désigner. Ce système permet de noter des choses simples (comptes, noms, etc.) mais pas de développer une grammaire ; il est lisible par tous… à condition d'être capables de reconnaître les signes employés. Longtemps perçu comme archaïque, il apparaît désormais qu'il était déjà employé à l'aube de l'Égypte pharaonique pour créer des sortes de rébus : donc pour noter des sons ! Les systèmes pictographiques peuvent ainsi avoir une composante phonographique et s'approcher d'une « véritable » écriture — telle celle déployée quelques siècles plus tard, avec les hiéroglyphes qui leur succéderont et où se mêlent en particulier syllabogrammes et idéogrammes. Un procédé efficace employé jusqu'à l'époque aztèque, trois mille ans plus tard. On entend aujourd'hui beaucoup parler du retour en force des « pictos » — émoticônes et autres panneaux de signalisation. Il s'agit d'un abus de langage : nos pictogrammes sont plus proches des idéogrammes, souvent associés entre eux pour multiplier et préciser les messages. Par exemple, « Interdiction de fumer » réunit deux signes simples, la cigarette et le cercle rouge barré, et c'est ensemble qu'ils acquièrent le sens cherché.

Les quatre systèmes d'écriture principaux : pictographique (ici dans le *Codex Boturini* aztèque, XVIe s.) ; idéographique (signes chinois, IIe millénaire av. J.-C.) ; syllabique (manuscrit éthiopien, XVIIe s.) et alphabétique (manuscrit italien, XIVe s.). La mixité est de mise, avec des signes idéographiques présents dans des textes alphabétiques, du syllabique mêlé au pictographique, etc.

2 Idéogrammes du concret aux idées

Comme les pictogrammes, les idéogrammes sont figuratifs mais vont un cran plus loin dans la symbolisation. Leurs dessins se schématisent et entrent dans l'abstraction : d'abord en n'étant plus forcément reconnaissables, comme dans le cunéiforme mésopotamien ; ensuite, par ce qu'ils permettent de noter. Les idéogrammes peuvent transcrire des idées, des concepts (ami, prière, etc.) et multiplient les sens. Ils peuvent être combinés : l'association de la bouche et de la main désigne la prière. Et un unique idéogramme peut devenir polysémique — la bouche va ainsi être utilisée pour noter la parole, le fait de crier… D'où la mise en place de signes complémentaires, dits « déterminatifs », pour préciser comment ils sont employés.

S'ils ne notent pas encore une langue, les idéogrammes sont liés à leur contexte culturel et nécessitent un apprentissage d'autant plus poussé que leur nombre (des centaines, voire des milliers) est important. D'où des textes plus longs, plus construits et plus variés. Ils vont avec une autre évolution : le logogramme, qui note, lui, un mot d'une langue donnée et non plus l'idée qu'il désigne. Le son est ici pleinement intégré. Nous faisons encore appel à ces systèmes, comme lorsque nous écrivons 10 € et non dix euros…

3 Syllabaires les sons matérialisés

À l'oreille, c'est la syllabe que l'on entend, c'est en syllabes que l'on décompose les mots. Sans surprise, les premiers signes phonétiques furent ainsi des syllabogrammes. Et dès le début, des systèmes d'écriture ont allié le son à l'image en faisant coexister, à côté des signes idéographiques, des signes syllabiques. Pour mieux adapter à leur langue l'écriture cunéiforme venue de Sumer, les Akkadiens leur donneront une place plus importante au milieu du IIIe millénaire. Avec pour conséquence d'en faire drastiquement baisser le nombre nécessaire (de près de 900 à la moitié) et d'amplifier la stylisation déjà à l'œuvre. Une centaine de signes peut, cette fois, suffire. Ancien, le syllabaire n'en reste pas moins actuel : les écritures éthiopiennes, celles de peuples autochtones canadiens et inuits, ou encore indiens, et d'autres y ont toujours recours.

4 Alphabets vers la plus petite unité sonore

Dernier avatar : l'écriture alphabétique, où un signe correspond à une lettre — consonnes et voyelles dans les alphabets latin, grec, copte, cyrillique, etc. ou uniquement consonnes (abjad) dans les alphabets arabe, hébraïque, syriaque… Ce sont les plus économes en signes, puisqu'ils en comptent souvent moins d'une trentaine. Une simplicité qui facilite l'apprentissage et l'adoption de signes inédits pour rendre les sons spécifiques à chaque langue. Et une efficacité qui en a longtemps fait le « meilleur » système du point de vue occidental. C'est oublier que le premier alphabet a été inventé, dès le milieu du IIe millénaire, à Ougarit, en Mésopotamie, toujours en partant de l'omniprésent cunéiforme. Et qu'il fut vite abandonné… Des alphabets continuent toutefois d'être créés, surtout en Afrique, pour noter des langues en danger avant qu'elles ne disparaissent. ■

MANUEL COHEN- HERITAGE ART/HERITAGE IMAGES/AURIMAGES - BRITISH LIBRARY/KHARBINE/LA COLLECTION - HERITAGE IMAGES/ AURIMAGES

Proto-élamite, le précurseur redécouvert

Longtemps éclipsé par le cunéiforme, ce système, né il y a 5000 ans, revient au premier plan. Malgré sa vie brève, il éclaire les mécanismes à l'œuvre lors de la naissance d'une écriture… et de sa disparition !

Au IVe millénaire avant notre ère se produisit au Proche-Orient un étonnant phénomène. Alors qu'elle est unanimement considérée comme une invention rare et complexe, l'écriture va y apparaître plusieurs fois, en quelques générations et sur un mouchoir de poche géographique *(voir la carte p. 63)*. Deux de ses foyers sont mondialement connus et consciencieusement étudiés depuis plus d'un siècle par des bataillons de linguistes et d'archéologues : l'Égypte, terre sacrée des hiéroglyphes, et la Mésopotamie, où Uruk est le berceau du cunéiforme.

Mais il en existait un troisième, souvent oublié et sous-estimé : le grand plateau au sud-ouest de l'Iran où, quasiment au même moment, émergea le proto-élamite. Ses 1700 tablettes d'argile marquées d'étranges signes stylisés constituent le plus vaste corpus écrit ancien toujours largement indéchiffré. Il attise désormais les passions.

Des tablettes en argile analysées par fluorescence X

Découvert à l'aube du XXe siècle, lors des fouilles françaises dans la cité de Suse, ce trésor scriptural ne soulève guère les foules érudites. Et une vingtaine d'années plus tard, il est submergé par les milliers de tablettes en proto-cunéiforme et cunéiforme tirées des sables d'Uruk. Légèrement plus ancien, le système mésopotamien dont les signes semblent tracés avec des clous va non seulement être déchiffré, mais il sera aussi bientôt décrit comme la première « vraie » écriture capable de retranscrire la parole. Le proto-élamite, dès lors, sera vu comme un « simple » système secondaire créé à partir de son incontournable voisin… C'était mal mesurer sa portée réelle. *« Si cette écriture a été peu étudiée, c'est en partie parce qu'elle est à la croisée de plusieurs disciplines,* estime Kathryn Kelley, assyriologue à l'université d'Uppsala (Suède). *Aborder ce domaine de recherche complexe nécessite des compétences en assyriologie, en archéologie, en histoire des systèmes de numération anciens et, de plus en plus, dans la maîtrise d'outils numériques. Mais la situation évolue : des travaux récents ont rendu accessibles les tablettes proto-élamites et dévoilé leur potentiel pour comprendre l'histoire de l'écriture à ses débuts. »*

Pourquoi, puisque le proto-cunéiforme le précède ? Parce que son originalité révèle les processus mentaux et techniques à l'œuvre dans la genèse et les premiers pas de cette invention pas

Une longue évolution

Nombre d'étapes conceptuelles et techniques ont précédé l'invention de l'écriture.

500 000 ANS
Première gravure connue : des zigzags tracés de la main d'*Homo erectus* sur un coquillage en Indonésie.

60 000 ANS
Néandertal laisse des encoches régulières sur un os d'hyène en Europe, peut-être pour noter un décompte.

40 000 ANS
En Europe, les arts pariétal et mobilier naissants de Néandertal et Sapiens emploient des signes géométriques.

Xe MILL. (av. notre ère)
À Jerf el-Ahmar (Syrie), des plaquettes sont gravées de signes abstraits graphiques : des aide-mémoires pour message ?

Surtout dédiée à des notations comptables, l'écriture proto-élamite est découverte lors de fouilles françaises sur le site de Suse, en Iran, à la fin du XIXe siècle. Elle va rester plus d'un siècle dans l'ombre du cunéiforme, omniprésent en Mésopotamie.

GRANDPALAISRMN/MUSÉE DU LOUVRE/MICHEL AROUIMI

comme les autres. *« Le proto-élamite est d'une importance capitale pour plusieurs raisons,* détaille Jacob Dahl, assyriologue à l'université d'Oxford. *Étant issu du cunéiforme, c'est le premier système d'écriture dit "dérivé" : ce qui nous renseigne sur la manière dont, très tôt, des populations l'ont adapté à leurs besoins. Car les scribes proto-élamites ne se sont pas contentés de s'approprier une technologie administrative performante : ils l'ont transformée. »* Si le proto-élamite est une écriture dérivée ou « fille » du proto-cunéiforme, elle se révèle ainsi des plus émancipées !

Elle a même pu, en retour, influer sur sa « mère »… Situées à quelques centaines de kilomètres de distance seulement, *« Uruk et Suse entretenaient des liens étroits et expérimentaient conjointement des technologies de l'information. Les preuves textuelles attestant de contacts entre les scribes du proto-cunéiforme archaïque et ceux du proto-élamite sont irréfutables »,* souligne Kathryn Kelley, qui vient de publier un ouvrage de référence sur le sujet. Les scribes proto-élamites de Suse remarquèrent l'expérimentation de leurs voisins, et ils y firent leur marché pour la leur. Résultat : deux écritures mutuellement exclusives, alors même que les cités qui les ont vues naître appartiennent à des aires culturelles qui se connaissent et sont passées par une même effervescence à la fin du IVe millénaire… L'archéologie a révélé ▸

IXe MILL. (av. notre ère)
En Mésopotamie se multiplient des jetons de comptage de marchandise, sans mention de leur nature.

MILIEU DU IVe MILL. (av. notre ère)
En Égypte, en Mésopotamie et en Iran apparaissent les premières écritures connues.

IIIe MILL. (av. notre ère)
La civilisation de l'Indus invente elle aussi son écriture.

DÉBUT-MILIEU DU IIe MILL. (av. notre ère)
Mésoamérique (Olmèques) et Chine mettent en place leurs propres systèmes.

MILIEU DU IIe MILL. (av. notre ère)
Se basant notamment sur l'alphabet protosinaïtique, les Phéniciens créent leur alphabet (l'ancêtre du nôtre).

un certain succès pour le proto-élamite, puisque ses tablettes se retrouvent dans une petite dizaine de sites sur le plateau iranien — soit une diffusion plus grande que celle du proto-cunéiforme. Des travaux novateurs de Jacob Dahl et Sepideh Jamshidi Yeganeh publiés en 2025 esquissent également la façon dont ce système fonctionnait en parallèle des anciens sceaux-cylindres toujours en vigueur *(lire l'encadré p. 64)*. Ces derniers étaient utilisés pour sceller localement à l'argile marchandises et lieux de stockage, quand les tablettes écrites, elles, voyageaient d'une cité à l'autre. Des données majeures pour décrypter les interactions économiques et les systèmes administratifs des proto-États, obtenues par la comparaison de la composition par fluorescence X des argiles employées pour scellements et tablettes! C'est ainsi tout le réseau de communication du plateau iranien antique qui est en train d'être réévalué.

PATRICE THÉBAULT / LA COLLECTION

Originaire d'Uruk (IVe millénaire), le proto-cunéiforme est considéré comme à l'origine de la première « vraie » écriture : le cunéiforme, capable de noter la parole.

VICTOIRE CONSTANTIN

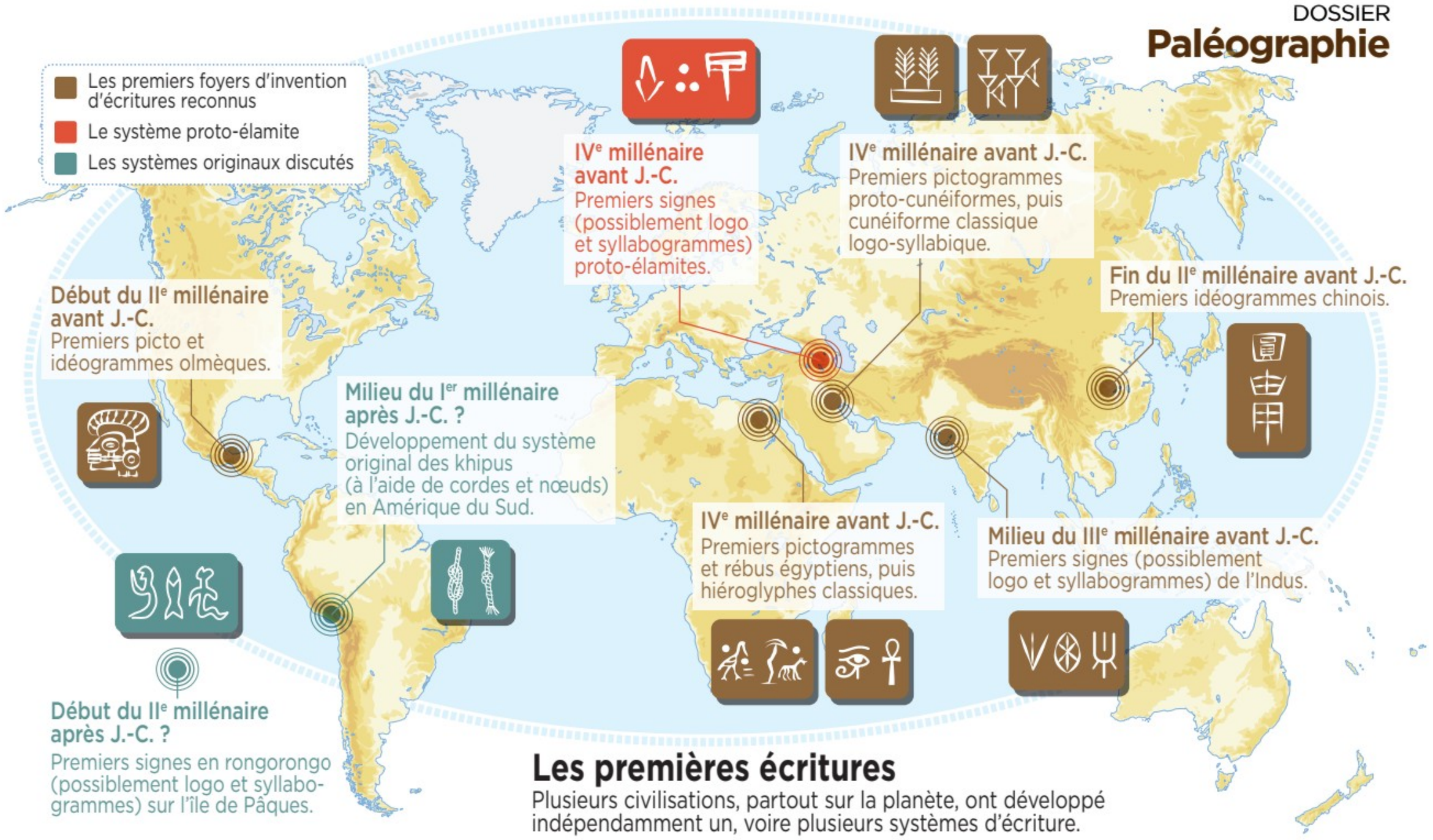
Le hiéroglyphique égyptien (ici, IIe millénaire av. J.-C.) est la seconde écriture « complète » connue. Sa création est quasi contemporaine de celle du cunéiforme.

Des signes où l'humain n'est jamais représenté

Quant à l'écriture proto-élamite elle-même, ce n'est pas parce qu'elle n'est que très partiellement déchiffrée que ses textes ne parlent pas. Ce qui frappe de prime abord, c'est sa singularité visuelle. *« Peut-être les scribes proto-élamites ont-ils souhaité se démarquer,* pointe Jacob Dahl. *Ils n'ont pas touché aux caractéristiques fondamentales de l'écriture : les aspects techniques comme le stylet, la plupart des systèmes numériques, etc. Ils ont, en revanche, modifié ce qui était important pour eux. »* Par exemple, là où le proto-cunéiforme fonctionne en « blocs », le proto-élamite s'écrit de façon linéaire — et c'est une première.

Ensuite, beaucoup de ses signes ne proviennent pas du « réservoir » urukéen et ceux qui ont été récupérés deviennent plus abstraits, au point de ne pas présenter l'aspect iconique généralement caractéristique des proto-écritures. Il y a encore le choix fort de ne jamais représenter de l'humain (tout ou partie), voire de le remplacer par des animaux, sur ses tablettes, ses sceaux-cylindres ou la joaillerie, comme s'attache à le démontrer Clélia Paladre, archéologue au département des Antiquités orientales du musée du Louvre. *« Ce qui lui confère une esthétique distincte »,* pointe l'assyriologue danois, qui parle d'un phénomène de schismogenèse (la volonté culturelle de se démarquer de ses voisins).

Formes et séquences des signes comme organisation des tablettes commencent aussi à se faire plus disertes grâce aux nouveaux outils d'analyse informatiques. Ainsi, notre compréhension de la composition des textes — administratifs dans leur écrasante majorité — connaît un nouvel essor. L'analyse de leur seule structure et des quelques signes identifiés (numéraux, touchant au bétail, à la gestion des champs, etc.) laisserait entrevoir, selon une hypothèse que développe actuellement Jacob Dahl, l'organisation politique et économique de Suse et de sa région : une société



Les premières écritures

Plusieurs civilisations, partout sur la planète, ont développé indépendamment un, voire plusieurs systèmes d'écriture.

INFOGRAPHIE : BRUNO BOURGEOIS

fragmentée, articulée autour de grandes maisons possédant des terres gérées par un chef de famille et ses superviseurs ; soit un ensemble bien moins centralisé qu'à Uruk.

Une écriture abandonnée dès le début du IIIe millénaire

Pour aller plus loin, le défi majeur est de mieux identifier les différents types de signes utilisés, notamment les plus intrigants, dits « complexes » car formés par la combinaison de plusieurs caractères (comme nous avons le « @ » ou le « & » par exemple). Notre mauvaise connaissance de la diversité réelle des signes proto-élamites avait empêché jusqu'à récemment de prendre la mesure de l'ampleur réelle de ce phénomène.

Les choses changent grâce à l'ambitieux projet de numérisation et d'analyse des tablettes iraniennes dirigé par Jacob Dahl. Ce que dévoilent déjà ces signes suffit à alimenter un mystère… et le débat. *« Le développement du proto-élamite a un côté "précoce" avec ses longues séquences qui comptent jusqu'à une douzaine de signes, alors qu'à la même époque les inscriptions égyptiennes sont très brèves et les tablettes proto-cunéiformes ne combinent qu'un petit nombre de signes, même si leurs textes peuvent être longs »,* constate Kathryn Kelley. Et, surprise, certains signes présents dans des séquences longues sont difficilement explicables… à moins qu'ils ne soient de nature syllabique et servent à noter des noms par les sons qui le composent.

Les prémices, déjà, d'une « véritable » écriture ? Entre une cinquantaine et une centaine de caractères (sur les 400 à 1500 qui composeraient cette écriture) seraient impliqués, une estimation cohérente avec ce qui s'observe dans tout système à composante syllabique. *« Si cette hypothèse se révélait exacte, il s'agirait d'une invention majeure,* souligne Jacob Dahl. *Ce qui est intéressant, c'est qu'elle surgit de nulle part — ce qui me rend sceptique — et qu'elle ne mène… nulle part ! Ce qui n'est, cette fois, pas surprenant : toutes les inventions qui semblent ingénieuses a posteriori n'ont pas nécessairement aidé leurs créateurs. » « Si elle était confirmée, il s'agirait d'une grande innovation pour l'époque,* appuie la spécialiste de l'université d'Uppsala. *Il faudra encore des siècles pour que des syllabaires standardisés voient le jour dans d'autres systèmes d'écriture. »*

Et le proto-élamite va également surprendre en étant la première écriture… abandonnée, dès le début du IIIe millénaire ! Pourquoi ? L'époque connaît des bouleversements et les spécialistes ne tranchent pas encore. L'organisation des cités élamites, dispersées sur le plateau iranien, n'a peut-être pas favorisé le maintien d'un outil trouvant toute sa justification au sein d'un État qui a besoin ▸

COLLECTION PERSONNELLE

« Uruk et Suse entretenaient des liens étroits et expérimentaient conjointement des technologies de l'information »

Kathryn Kelley, assyriologue à l'université d'Uppsala (Suède)

de gérer, vérifier, centraliser… Suse et ses consœurs ont, certes, développé leur réseau de communication grâce à lui mais était-il adapté à leurs besoins ? Certains chercheurs soulignent aussi que cette tradition scripturale ne semble pas s'être ancrée dans la société : à la différence de ce qui s'observe à Uruk, il n'existe pas de tablettes listant les signes afin de faciliter leur apprentissage et leur partage — Kathryn Kelley pourrait en avoir identifié une seulement, en 2025. Comment dès lors définir une norme commune et la transmettre ? Est-ce une des raisons pour lesquelles s'observe une telle variabilité dans les signes employés ?

Jacob Dahl envisage enfin une autre possibilité, qui ne manque pas de piquant : *« Même si ces hypothèses peuvent être complémentaires, je pense actuellement qu'ils ont, en conscience, choisi d'abandonner l'écriture. C'est ce qui correspond le mieux à la façon dont j'interprète les données archéologiques. »* Pour ces populations habituées à leur indépendance, cet outil de contrôle aurait pu sentir le soufre. L'écriture mettra ensuite près de six siècles à se réimplanter sur le plateau iranien. Et ce retour souligne encore une fois le destin hors norme de l'écriture dans cette vaste région. Assez logiquement, c'est une version plus évoluée et polyvalente du proto-cunéiforme, le cunéiforme, qui s'y installe vers l'an -2400. Mais deux siècles plus tard, les scribes iraniens recréent un système qui leur est propre ! Ce sera l'élamite linéaire, aux fins signes géométriques.

Un terrain d'expérimentation unique pour les linguistes

Une hypothèse ancienne, récemment reprise avec les travaux de François Desset, archéolinguiste à l'université de Liège, propose que cette écriture descende directement du proto-élamite oublié. En témoignerait, par exemple, la conservation de certains signes. Pour Jacob Dahl, une autre interprétation est plus cohérente : ces signes, pas si nombreux, auraient été recyclés ! La région a une longue tradition de réemploi d'un style archaïque pour donner du prestige à des inscriptions. Dans un second élan de schismogenèse, peut-être impulsé par le puissant souverain Puzur-Inshushinak face à l'expansion du voisin mésopotamien, les scribes susiens auraient pu s'inspirer des caractères anciens les plus fréquents dans leur environnement afin de concevoir leur nouvelle écriture. Qui sera à son tour abandonnée quelques siècles plus tard…

Le parcours atypique des écritures élamites semble ainsi raconter en accéléré l'histoire de l'écriture en général. Quant aux tablettes extirpées au XX^e^ s. des sables de Suse ou de Malyan, elles sont des mines d'informations dont les experts commencent à entrevoir la richesse, à défaut de pouvoir lancer de nouvelles fouilles. Leurs textes indéchiffrés offrent un terrain d'expérimentation unique pour lequel les linguistes développent des outils d'analyse inédits : de quoi formuler bientôt, ils n'en doutent pas, de nouvelles hypothèses, avancer dans leur lecture… en espérant que le patrimoine élamite et ceux qui l'étudient ne paient pas un trop lourd tribut aux conflits actuels. ■

SYMBOLIQUE

Jetons, sceaux-cylindres… ce qui venait avant

MUSÉE DU LOUVRE, AO 2063

Les sceaux-cylindres ont précédé et côtoyé les premières écritures.

Ni le proto-élamite ni le proto-cunéiforme, sur lequel il s'appuie, ne sortent de nulle part. Dès le VII^e^ millénaire avant notre ère, les populations d'Iran et de Mésopotamie ont recours à des jetons de comptage, des bulles et des tablettes d'argile couvertes d'indications numériques (sans précision sur ce qu'elles comptabilisent), ainsi qu'à des cachets pour marquer leurs possessions. Puis au milieu du IV^e^ millénaire, soit peu avant le début du proto-cunéiforme, apparaissent les sceaux-cylindres ornés de motifs gravés. *« Plus travaillée et plus riche en motifs, leur iconographie donne davantage d'informations que celle des cachets »*, indique Clélia Paladre, autrice d'une thèse sur le sujet, publiée en 2022. Et elle intrigue les spécialistes. En 2025, Kathryn Kelley a montré que certains de leurs signes avaient pu inspirer ceux du proto-cunéiforme. *« Et il y a des preuves plus probantes encore du lien entre les signes des sceaux-cylindres iraniens et ceux du proto-élamite,* note l'assyriologue. *Nous avons utilisé des symboles avant d'inventer l'écriture : il faut accepter de la réinscrire dans le prolongement des traditions symboliques en vigueur au moment de son invention. »* Et, amusée, Clélia Paladre rappelle que *« l'archéologue Holly Pittman a suggéré dès 2013 que ces précieux sceaux-cylindres auraient été inventés en Iran… avant d'influencer la Mésopotamie. »*

© MANUEL COHEN/AURIMAGES

Savoir écrire a permis de noter les récits fondateurs (ici, un manuscrit byzantin du XV^e^ s.), comme de gérer l'impôt.

L'écriture et le pouvoir, une longue proximité

Née indépendamment en plusieurs points du globe, l'écriture a servi à compter, gouverner ou interroger les dieux, bien avant de raconter des histoires. Une invention majeure pour le développement des cités-États, mais pas seulement.

Au cours de l'immense période paléolithique, nous avons « lu » les signes cachés dans notre environnement, des dangers qui nous entouraient aux présages divins, bien avant d'écrire. Puis nous avons commencé à tracer, ici et là, de premiers signes sur de la pierre et des objets d'os et d'ivoire. Mais pourquoi, il y a un peu plus de 5000 ans et après des dizaines de millénaires de pratique, avons-nous décidé de leur donner toujours plus d'importance ? Car rien n'est simple ou naturel, dans cette technique. Il a fallu comprendre qu'il était possible d'exprimer sur un support physique ce qu'il se passe dans notre tête ; créer les outils et pigments adéquats ; concevoir assez de signes pour suivre une pensée toujours plus avide de s'exprimer ; mettre en place un code et le transmettre… Pour cela, notre cerveau s'est livré à une gymnastique neurologique afin d'adapter certaines de ses aires à la reconnaissance de ce qui deviendrait des lettres ou de coordonner main et œil pour les tracer.

Pourtant, dès que ses prémices commencent à être adoptées, le phénomène scriptural prend de l'ampleur. Et une fois installée, une écriture meurt rarement ; elle se révèle même très adaptable. La civilisation proto-élamite sera l'une des rares à la rejeter après l'avoir dévelop-

pée. L'anthropologue britannique Jack Goody voyait dans cette « technologie de l'intellect » le moyen de penser dans le temps et l'espace, d'affûter nos idées et raisonnements — mais aussi le risque de les figer. Comme l'a souligné le spécialiste du monde mésopotamien Jean-Jacques Glassner, *« l'effort consenti pour créer l'écriture montre que l'on est en présence de l'une des plus grandes aventures intellectuelles de l'histoire de l'humanité »*. D'où l'intérêt de nombreux chercheurs spécialistes des cultures où elle a émergé. Quelles furent ses fondations dans leur région d'expertise, et y a-t-il des points communs ?

Les réponses sont plurielles. À Sumer, les plus anciens écrits ont été retrouvés dans des demeures privées et enregistrent des transactions et actes juridiques alors que la société est en pleine mutation : en ce IVe millénaire avant notre ère, les cités se développent et les relations (notamment commerciales) se font plus complexes. Or ce savoir-faire offre de nouvelles possibilités de gestion, comme tenir ses comptes ou planifier ses actions. Il ne tarde pas à être récupéré par l'administration centrale et les élites locales pour asseoir leur autorité… Dans l'Égypte prédynastique contemporaine, les changements sociopolitiques ne sont pas moindres. L'urbanisation aussi se développe, comme la hiérarchisation sociale qui va de pair avec l'essor des chefferies et du souverain.

Fixer les noms des choses et légitimer le pouvoir naissant

Des traces précoces d'écriture accompagnent ce mouvement, comme l'a décrit l'égyptologue Pascal Vernus : les étiquettes en ivoire de la riche tombe U-j, à Abydos, sont autant de marques d'appropriation des produits de luxe qu'elles mentionnent ; les artefacts rituels, telle la palette du roi Narmer, exaltent le statut du souverain ; le *serekh,* signe de propriété, est de plus en plus présent… Le système, qui permet de fixer les noms et l'essence des choses, contribue ici à l'ordre du monde tout en légitimant le pouvoir pharaonique naissant.

En Chine, les plus anciennes formes d'écriture sont liées à la divination : il s'agit de milliers d'inscriptions du milieu du IIe millénaire, très codifiées, notées sur des plastrons de carapaces de tortues. Retrouvées à Anyang, la capitale de la dynastie Shang, elles enregistrent les oracles : faut-il partir en campagne militaire ? L'empereur va-t-il avoir un héritier ? Le signe *Shi* signifie d'ailleurs devin, scribe et annaliste… En Mésoamérique, les plus anciens glyphes sont associés à l'émergence des calendriers, utilisés ensuite pour commémorer souverains et conquêtes. Ailleurs encore, la pratique est liée à la protection de secrets, à la fondation des cités, etc. Il semble donc que l'écriture est présente à chaque fois que l'ordre social se fait plus

La fin de la « parenthèse Gutenberg » ?

Dans son étude des liens entre écriture et États, Christopher Opie constate l'impact de l'imprimerie de Gutenberg en Occident, après le XVe siècle. La transmission de l'information, jusque-là orale, performative et éphémère, accorde dès lors une place toujours plus grande à l'écrit — qui va altérer sa nature, ses modes de diffusion et toucher de nouveaux publics. La « parenthèse Gutenberg », terme posé en 2009 par Lars Ole Sauerberg (université du Danemark du sud), voit l'alphabétisation du public progresser… jusqu'au début du XXIe siècle. Dans un essai publié en 2023, Jeff Jarvis, spécialiste des médias à l'université d'État de New York, détaille la manière dont nous entrons dans une nouvelle ère de transformation sociale avec le numérique : restée plus exigeante que l'oral malgré 5000 ans d'usage, l'écriture recule partout face aux contenus en ligne, messages vocaux et autres *Reels Instagram.* Va-t-elle en acquérir des caractéristiques — construction collective, sans plus de forme finale… ? Dans la séquence actuelle, pleine d'innovations, rien n'est acquis. Sinon que l'on ne reviendra pas en arrière.

L'imprimerie avait permis à l'écriture de s'imposer en Occident. Les nouvelles technologies relancent-elles l'oralité ?

SHUTTERSTOCK

L'écriture s'est développée pour répondre à de nombreux besoins, comme la notation d'oracles en lien avec le pouvoir (écailles de tortue avec signes chinois, XIIIe s. av. J.-C).

GIANNI DAGLI ORTI/AURIMAGES

complexe et qu'un développement étatique s'observe en toile de fond.

Pour aller au-delà des variations individuelles, Christopher Opie, de l'université de Bristol (Royaume-Uni), s'est plongé dans les données de 1291 sociétés venant de toute la planète, compilées dans *L'Atlas ethnographique* (1999). Son idée ? Tester par des méthodes de comparaison, avec des outils mathématiques, l'hypothèse — proposée en 2017 par l'anthropologue anarchiste James Scott — d'un lien entre culture intensive de graminées (riz, blé, maïs…), émergence de l'État, impôt et écriture ; les autres cultures (tubercules, fruits…) étant plus difficiles à taxer de façon organisée. *« Une première,* indique le spécialiste, qui a publié ses travaux fin 2025. *Nos résultats les plus marquants ont été de montrer que la formation d'un État avait très peu de chances de se produire en l'absence d'une forte agriculture céréalière, facile à suivre et à stocker donc avec un bon potentiel fiscal. Mais aussi que l'écriture a pu très tôt être utilisée pour consigner les impôts les concernant. »*

Comme si les premiers États avaient mis en place une forme de « racket » grâce à leurs scribes, selon l'expression de James Scott ; l'écriture servant ensuite au développement de systèmes juridiques et sociaux toujours plus hiérarchisés.

Identifier une cause originelle unique reste illusoire

De quoi apporter de l'eau au moulin de la célèbre « prophétie » de Claude Lévi-Strauss, dans *Tristes tropiques* (1955) ? *« Le seul phénomène qui ait fidèlement accompagné [l'apparition de l'écriture] est la formation des cités et des empires, c'est-à-dire l'intégration dans un système politique d'un nombre considérable d'individus et leur hiérarchisation en caste et classes (…) Si mon hypothèse est exacte, il faut admettre que la fonction primaire de la communication écrite est de faciliter l'asservissement… »*

Silvia Ferrara, philologue à l'université de Bologne, met toutefois en garde contre les simplifications abusives. *« L'écriture est un phénomène aux multiples facettes : elle permet de donner des noms, s'emboîte dans de nombreuses autres inventions qui l'ont précédée… mais n'était pas forcément perçue comme révolutionnaire ni pourvue d'une finalité précise à son origine »,* souligne la responsable du programme de recherche européen Inscribe. S'il devient possible d'analyser le début de son expansion, identifier une cause originelle unique reste pour l'heure illusoire. Les États naissants semblent plus agir en parasites qu'en inventeurs : accaparant tôt cette technique, dont ils pressentent les possibilités, et non en la créant de toutes pièces. Cela dit, en favorisant le développement de cet outil de contrôle, ils lui permettent également de se diversifier et, bientôt, de noter poésies, mythes et actes de la vie quotidienne — et, aussi, de coloniser d'autres sociétés. ■

S. FERRARA

« [L'écriture] n'était pas forcément perçue comme révolutionnaire ni pourvue d'une finalité précise à son origine »

Silvia Ferrara,
philologue à l'université de Bologne (Italie)

Ces codes anciens qui préservent leurs secrets

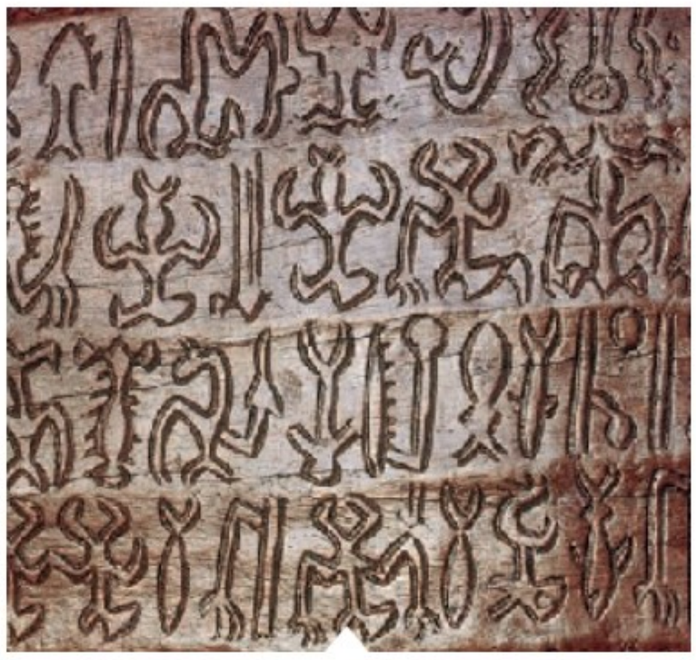
Étrusque, rongorongo, linéaire A… vieilles de 500 ou de 5000 ans, plusieurs écritures restent illisibles malgré parfois plus d'un siècle de recherches. Mais de nouvelles méthodes pourraient enfin faire parler ces signes muets

Déchiffrer une écriture, c'est accéder à sa langue et à une partie de sa culture qui ne transparaît pas forcément dans ses autres vestiges. « *L'écriture traduit le filtre à travers lequel nous voyons le monde… Alors forcément, réussir à lire ne serait-ce qu'une des écritures qui restent indéchiffrées serait une formidable avancée !* » s'enthousiasme la philologue Silvia Ferrara, de l'université de Bologne, et responsable du programme de recherches européen Inscribe (Invention of scripts and their beginnings).

Si, régulièrement, de nouvelles percées sont faites, comme en 2022 sur l'élamite linéaire, certaines écritures emblématiques continuent à résister aux chercheurs. Et comprendre pourquoi permettrait d'envisager de nouvelles stratégies de déchiffrement.

1 L'inépuisable originalité du rongorongo pascuan

Peu de zones habitées sont aussi isolées que l'île de Pâques. Perdue dans l'océan Pacifique à plus de 3800 km des côtes chiliennes, Rapa Nui, de son vrai nom, pourrait pourtant faire partie du



SPL/SCINCEPHOTO.FR

Il ne reste que 27 objets portant des inscriptions en rongorongo, l'écriture inventée sur l'île de Pâques.

cercle très fermé des inventeurs d'écriture avec le rongorongo. Le débat reste de mise, certains associant encore ses étranges glyphes tracés en boustrophédon inversé (sens de lecture alternant de gauche à droite et de droite à gauche) à une proto-écriture, et d'aucuns y voyant une écriture véritable mais inspirée par d'autres. Les arguments, toutefois, s'accumulent pour l'originalité.

À peine 27 objets en bois portant en tout 17 000 signes (des tablettes, ainsi qu'un bâton et deux pectoraux) sont connus, et les deux seuls datés ne remontaient qu'au XIXe siècle : s'agissant de l'époque des premiers contacts avec les Occidentaux, une influence était probable — jusqu'à ce qu'en 2024, une étude au carbone 14 déplace le curseur au XVe siècle. Les Pascuans utilisèrent donc ce système plusieurs siècles… avant d'en perdre la clé. En 1866, le père Joseph Eyraud, premier à s'y pencher, notera que les tablettes n'avaient alors plus qu'un rôle rituel ; il faudra attendre 1958 pour que l'ethnologue allemand Thomas Barthel publie un premier répertoire de 632 signes.

Aujourd'hui, les travaux du linguiste franco-russe Konstantin Pozdniakov sur la statistique et la structure des textes ont montré que ces derniers étaient des mosaïques de « mini textes ». Une forme qui évoque plus des listes (généalogiques, calendaires, magiques…) que des récits mythiques au long. Autres constats : après réanalyse, tri, reclassement de ces signes, les spécialistes estiment que le rongorongo pourrait en compter une cinquantaine d'usuels, auxquels s'ajoutent des variantes, des compléments, etc. Ce nombre de caractères, qui renvoie à un système logo-syllabique, est cohérent avec le nombre de syllabes du rapanui ; mieux, leurs fréquences sont elles-mêmes cohérentes — ouvrant la

MANUEL COHEN/AURIMAGES

▶ **Au IIe millénaire av. J.-C., la Crète** a mis au point quatre systèmes d'écriture, dont trois restent indéchiffrés (ici, le disque de Phaistos, daté de -2000 ans)

voie à de possibles rapprochements. Et en 2024, l'archéologue Miguel Valério a publié une étude sur la ligature de signes (le couplage) afin d'en développer le sens. En parallèle, le projet Inscribe, mené à l'université de Bologne, est en train de numériser les inscriptions réparties partout sur la planète : des données indispensables pour comprendre comment elles étaient tracées et agencées. Voir où les anciens scribes se corrigeaient montre quelles erreurs étaient rédhibitoires. Si le rongorongo reste indéchiffré, les efforts pour en percer les secrets connaissent ainsi une nouvelle jeunesse.

2 Les sceaux silencieux de la vallée de l'Indus

En janvier 2025, l'État du Tamil Nadu, au sud-est de l'Inde, annonçait une récompense d'un million de dollars à qui décoderait l'écriture de la vallée de l'Indus. Pourquoi cet intérêt pour une civilisation disparue il y a près de 4000 ans et implantée au nord-ouest du pays ? Parce qu'une étude de l'université de Pondichéry mettait en évidence des similitudes entre les graffitis de poteries, vieilles de 3000 ans, exhumées de sites de la région et les caractères de la civilisation harappéenne — d'après Harappa, sa principale cité avec Mohenjo-Daro au IIIe millénaire. Les archéologues le reconnaissent : leur étude se fonde sur la morphologie des signes, pas sur la linguistique. Quant aux linguistes, ils continuent de se déchirer sur ces inscriptions indéchiffrées.

Les difficultés ne manquent pas : si 5000 « textes » sont connus, ils ne comptent, en moyenne, que cinq signes — 27 pour le plus long. Ils apparaissent sur des « étiquettes » jadis associées à des denrées ou des offrandes, ou sur de fins sceaux de pierre, associés à un ani- ▶

Les spécialistes n'ont aucun repère, aucun nom à associer à la culture de Rapa Nui, aucun document bilingue. Alors ils procèdent par recoupement et par élimination.

mal réel ou fantastique. Mais quel type d'écriture s'y cache ? Et quelle langue serait retranscrite ? Les spécialistes n'ont aucun repère, aucun nom à associer à cette culture, aucun document bilingue. Alors ils procèdent par recoupement et par élimination.

La langue ? Elle pourrait être apparentée aux anciens idiomes dravidiens (à l'origine complexe et toujours parlés dans le sud de l'Inde comme au Pakistan) ou védique (encore utilisé pour retranscrire certains textes sacrés de l'hindouisme tels les védas par exemple). Quant au type d'écriture, statistique et structure des séquences de caractères apportent des indices. Quelque 400 signes ont été distingués, ce qui évoque un système logo-syllabique – tout comme la taille des « mots », de un à trois signes (la longueur typique en cunéiforme sumérien par exemple). Pas suffisant pour certains qui y voient un assemblage de symboles politico-religieux, comme notre héraldique, et non la notation d'une langue. Que nenni, rétorquent leurs opposants comme le spécialiste en génie informatique Rajesh P. N. Rao, de l'université de Washington (États-Unis) : depuis les années 2010, l'analyse statistique de la distribution des signes a permis de comprendre leur organisation dans les « mots » et les séquences.

Ces résultats sont similaires à ce qui s'observe dans d'autres écritures (sanskrit, sumérien…) et diffèrent de systèmes de notation d'information de type ADN, Fortran, etc. Si bien qu'aujourd'hui,on peut composer des séquences cohérentes de caractères harappéens mais pas les lire ! Les interprétations de signes commencent toutefois à se multiplier, en particulier pour 25 d'entre eux. Partisan d'un lien avec des formes anciennes du dravidien, Asko Parpola, de l'université d'Helsinki (Finlande), propose par exemple que le signe représentant un poisson puisse aussi noter le mot « étoile » (*miin* en dravidien dans les deux cas). Une association phonétique riche en possibilités pour identifier des corps célestes, des noms…

NOUVELLES TECHNOLOGIES

Déchiffrer autrement grâce à l'IA

Pour la philologue Silvia Ferrara, de l'université de Bologne, les nouvelles avancées en déchiffrement viendront « *des synergies entre les disciplines. Nous avons besoin de spécialistes des sciences cognitives et informatiques, et plus juste de linguistes ou d'archéologues !* »

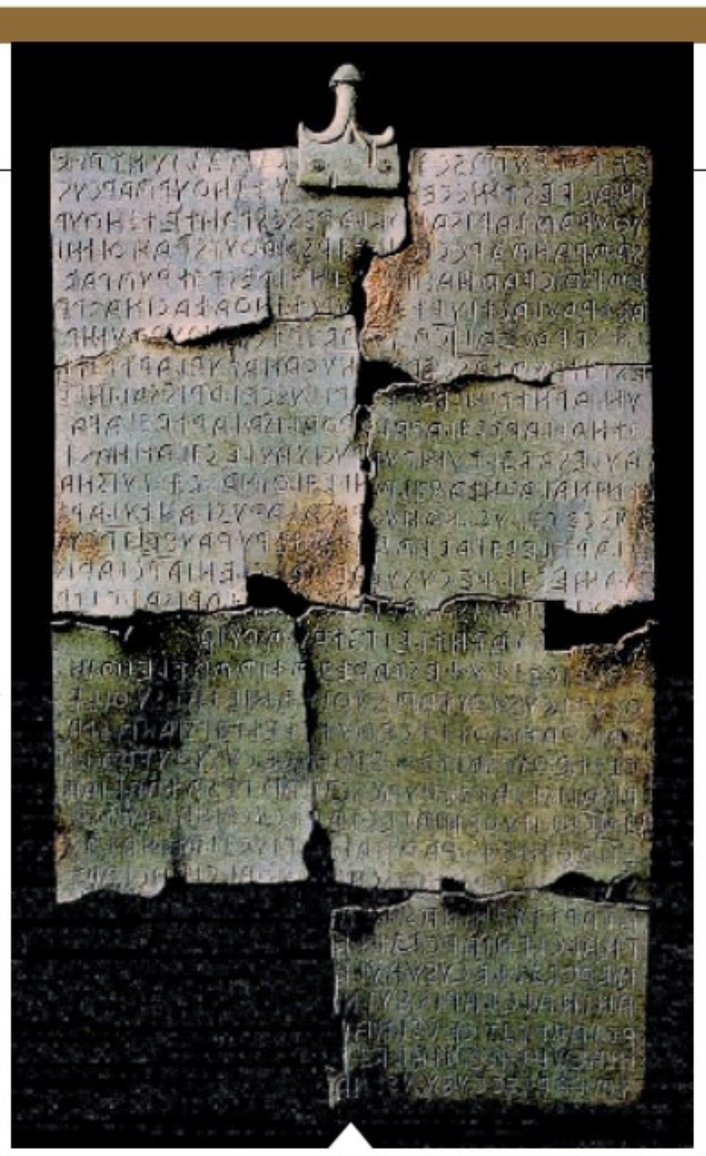
Ses équipes du projet européen Inscribe utilisent ainsi réseaux de neurones artificiels et *deep learning* pour analyser le corpus de signes du chypro-minoen et ses liens avec les écritures parentes des linéaires A et B. Le but étant de reconstituer leur évolution et leur grammaire.

C'est aussi la pluridisciplinarité qui a poussé le linguiste Francesco Perono Cacciafoco de l'université Xi'an Jiaotong-Liverpool de Suzhou (Chine) à se tourner vers la cryptanalyse et à adapter les techniques d'attaque de force brute, conçues pour percer les systèmes cryptographiques en testant toutes les combinaisons possibles entre des jeux de données : la puissance de calcul permettant, pour lui, une approche impartiale dans la recherche de la langue derrière le linéaire A. *Machine learning* et modèles probabilistes ne sont pas en reste. Bien entraînés, estime l'informaticien Rajesh P. N. Rao, ils renouvellent la dissection des séquences de signes. Ils pourraient même être capables de faire des propositions afin de combler des inscriptions lacunaires.

3 L'éternel paradoxe scriptural étrusque

Ils se sont épanouis au cœur de l'Italie au cours du Ier millénaire avant notre ère, et ont été les grands alphabétisateurs de la péninsule bientôt romaine… Les singuliers Étrusques continuent pourtant de nous échapper et leurs paradoxes s'incarnent dans leur écriture : rédigée dans un alphabet grec archaïque que l'on connaît — emprunté aux colons grecs de Campanie (Eubée) au VIIIe siècle avant notre ère —, elle se lit parfaitement… mais la langue qui se cache derrière nous échappe. Non indo-européen et sans parent connu, l'étrusque est un défi à la traduction et le moindre de ses mots est obtenu de vive lutte. Aucune inscription bilingue n'est identifiée, et les rares cas de textes mis en parallèle sont similaires seulement dans leur contenu — comme pour les lamelles d'or de Pyrgi, où se côtoient phénicien et étrusque. La méthode dite « combinatoire » est la plus utilisée pour tenter de remonter au sens des mots, un à un. Ne reposant que sur l'étrusque et ce que l'on sait de cette culture, elle met en rapport différentes phrases où apparaît un mot donné. Pour ce faire, les spécialistes disposent d'un corpus d'environ 11 000 inscriptions dont la majorité est aussi courte que stéréotypée (funéraire à 70 %, de propriété, etc.) : les termes liés à la famille sont ainsi bien représentés, et le mot *clan* a, par exemple, pu être traduit en « fils ».

Mais il est difficile d'élargir le vocabulaire. Les rares textes longs ne sont donc compris que dans leurs grandes lignes. Le Livre de lin de Zagreb (1200 mots) semble contenir un calendrier religieux et la Table de Cortone (206 mots) un contrat de vente… ou un partage d'héritage. Pas de quoi décourager les vaillants étruscologues, qui avancent, certes, lentement mais sûrement.



MUSÉE DE L'ACADÉMIE ÉTRUSQUE DE CORTONE/WIKIPEDIA - AKG IMAGES

Les linguistes disposent de peu de longs textes en étrusque (ici, la Table de Cortone, IIe s. av. J.-C.).

Les « textes » de la civilisation de l'Indus mêlent signes et dessins. (IIIe millénaire av. J.-C.).

4 La folle inventivité de la civilisation minoenne

Créer une écriture est déjà une gageure… La Crète, berceau de la civilisation minoenne aux vastes « palais » administratifs, en développa quatre au IIe millénaire avant notre ère, dont trois à partir de langues inconnues et présumées différentes : le hiéroglyphique crétois, les linéaires A et B, et celle du disque de Phaistos — du nom du palais où il a été exhumé. Ce dernier, avec ses 242 signes imprimés au poinçon, est un ovni… Les trois autres ont l'avantage d'avoir des liens de parenté qui offrent un peu plus de perspectives.

Le hiéroglyphique, apposé de 2100 à 1700 av. J.-C. sur plusieurs centaines de sceaux, devait sans doute cumuler des usages symbolique, personnel et administratif. Il montre trop peu de signes pour permettre de réelles avancées. À l'inverse, le linéaire B, riche de 6000 tablettes (et plus de 60 000 signes) datées entre 1400 et 1200 avant notre ère, a été déchiffré en 1952 ; fondé sur un système logo-syllabique, il s'appuie sur un dialecte grec archaïque.

Entre les deux, le linéaire A est en embuscade, employé entre 1800 et 1450 avant notre ère dans les palais (Cnossos, Haghia Triada, etc.) comme les sanctuaires. Ses 1500 inscriptions pour moins de 9000 signes sont un maigre butin mais certains, dont le dessin est identifiable, laissent entrevoir les sujets traités (suivi de production agricole)… Et surtout il possède des caractères communs avec les deux autres. D'où l'énorme travail en cours de compilation des signes des linéaires A et B d'Ester Salgarella, du St-John's College (Cambridge) pour permettre leur comparaison fine. En 2021, la chercheuse annonçait avoir mis en évidence des similarités graphiques et fonctionnelles entre eux. La preuve, pour l'archéologue, d'une « *relation plus subtile* » qu'envisagée. Mieux cerner le niveau de transmission du linéaire A vers le B l'aide déjà à identifier une logique et des indices linguistiques. Pour accélérer les avancées, sa base de données (SigLA) est accessible à toute la communauté scientifique.

Le linguiste Francesco Perono Cacciafoco, de l'université Xi'an Jiaotong-Liverpool de Suzhou (Chine), a quant à lui opté pour la « force brute » : celle des algorithmes *(lire l'encadré ci-contre)* pour tester toutes les combinaisons possibles entre signes du linéaire A et syllabes des langues anciennes (connues) de la région égéenne. Et tenter de trouver des corrélations… . La masse de données ainsi obtenue est énorme mais, en 2024, le chercheur a indiqué avoir identifié des motifs répétitifs et des similitudes phonétiques intéressants. Soit, en cinq ans, l'ouverture de deux nouvelles voies d'approche innovantes pour entrevoir, enfin, la structure d'une langue et de son écriture, muettes depuis 5000 ans. ■

WORLD HISTORY ARCHIVE/AURIMAGES

CRYPTOGRAPHIE

Le manuscrit de Voynich

Découvert en 1912 par Wilfrid Voynich mais daté en 2011 du XVe siècle, le manuscrit arbore des signes et dessins qu'aucun expert n'a pu expliquer. Intriguée, la linguiste Claire Bowern, spécialiste des langues autochtones d'Australie à l'université Yale (États-Unis), y a appliqué, en 2021, les outils statistiques de sa discipline. Résultat : la potentielle langue derrière les signes ne ressemble pas à un langage parlé « classique » — leur séquence est trop prévisible. En revanche, la structure interne du tout, cohérente, est bien proche de celle d'un système naturel ! Le texte est-il alors chiffré ? La chercheuse teste cette hypothèse, d'autant plus intrigante que les différentes parties du manuscrit auraient été écrites par au moins quatre personnes, qui n'auraient pas toutes procédé exactement de la même façon.

ANP/ABACAPRESS.COM

Le diacre Jos Valke examine ce qui pourrait être la sépulture de Charles de Batz de Castelmore, dit comte d'Artagnan, située sous l'ancien maître-autel du XVII^e siècle de l'église Saint-Pierre-et-Saint-Paul, à Maastricht (Pays-Bas).

D'Artagnan
À la recherche du quatrième mousquetaire

Plus de trois siècles après sa mort, un squelette exhumé dans une église des Pays-Bas pourrait livrer le secret de la sépulture de d'Artagnan. Pour le vérifier, chercheurs et historiens croisent archives, analyses isotopiques et ADN ancien, sur fond de rivalités mémorielles et d'enjeux diplomatiques.

Par Hugo Jalinière

« *Si c'est vraiment lui, sa place est aux Invalides !* » lance Aymeri de Montesquiou. L'ancien sénateur du Gers est l'un des descendants de Charles de Batz de Castelmore, mieux connu sous le nom de d'Artagnan. En mars dernier, il a été contacté pour donner des échantillons de cheveux et de sang afin de comparer son ADN à celui d'un squelette découvert sous l'église Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Wolder, un quartier de Maastricht (Pays-Bas). Or depuis trente ans, une enquête historique menée par l'historienne Odile Bordaz et l'archéologue Wim Dijkman suggère que c'est dans ce lieu que reposerait l'illustre aïeul d'Aymeri de Montesquiou.

Certes, la célébrité de ce personnage historique modeste a été considérablement amplifiée par le succès de la saga d'Alexandre Dumas (*Les Trois Mousquetaires, Vingt ans après, Le Vicomte de Bragelonne*). Reste qu'il fut suffisamment remarquable à son époque pour inspirer des écrivains comme Gatien de Courtilz de Sandras (1644-1712) — contemporain de d'Artagnan — et Dumas père donc ; jusqu'à devenir l'un des plus célèbres héros d'aventure français. Voir les restes de cet officier favori de Louis XIV rejoindre la grande nécropole militaire de France n'aurait rien d'absurde. « *Mais je crains que les Bataves tentent de s'approprier sa dépouille pour le tourisme* », nous confie Aymeri de Montesquiou.

En attendant, le corps n'a toujours pas été identifié. Depuis le mois d'avril, la ville de Maastricht a repris la main et verrouillé la communication sur une enquête sensible. Dès fin 2025, à la faveur d'un affaissement dans le sol de l'église, l'ex-archéologue municipal, Wim Dijkman, obtient enfin de fouiller ce site, identifié de longue date avec Odile Bordaz. Mais ces premières fouilles sont interrompues et jugées « illégales » par la municipalité. L'affaire prend même un tour rocambolesque fin mai 2026, lorsque l'archéologue est placé en garde à vue. Le ▸

chercheur émérite refuse de restituer un fragment d'humérus et deux dents prélevés sur le squelette. Ceux-là mêmes qu'il avait envoyés pour analyses à l'Institut de médecine légale de l'université de Munich, en Allemagne. Analyses dont aucun résultat n'a filtré jusqu'ici… Depuis, les ossements ont été rendus et la ville de Maastricht a confié une nouvelle fouille de l'église à une société privée, Baac Archeologie, et à l'université des sciences appliquées de Saxion (Pays-Bas). Le centre médical de l'université de Maastricht est, lui, chargé de l'enquête médico-légale visant à déterminer l'origine géographique du squelette, grâce à des analyses isotopiques, et tenter de faire parler l'ADN ancien.

Les analyses isotopiques ne livrent pas le verdict espéré

Les résultats préliminaires, communiqués début juillet depuis le bureau du maire, montrent qu'il s'agit bien d'un homme d'environ 1,74 m, mort entre 44 et 66 ans, une fourchette qui englobe les 62 ans attribués à d'Artagnan. Mais la datation au carbone 14 s'est révélée inutilisable : sa marge d'erreur, comprise entre 1500 et 1900, est beaucoup trop large pour identifier le défunt. Les analyses isotopiques, qui permettent de retracer l'environnement dans lequel un individu a grandi à partir d'une signature chimique de ses os et dents, n'ont pas livré le verdict espéré. Elles suggèrent soit un régime alimentaire particulièrement riche en poissons de mer, soit une origine plus orientale que la Gascogne natale de d'Artagnan.

Problème : il n'existe aucun référentiel isotopique pour les mousquetaires du XVIIe siècle, dont les campagnes militaires ont pu profondément modifier l'alimentation. L'autre indice spectaculaire des premières fouilles s'est dégonflé : la balle de mousquet retrouvée dans la cage thoracique s'est révélée un simple clou forgé… Reste cette pièce de monnaie de 1660 à l'effigie de Louis XIV retrouvée auprès du squelette, compatible avec un officier français tombé lors du

COURTESY OF AN ANONYMOUS SOURCE/AFP

Le squelette correspond à celui d'un homme d'environ 1,74 m, mort entre 44 et 66 ans.

siège de Maastricht. Mais, faute d'éléments de preuve décisifs, c'est moins l'archéologie que l'histoire qui continue de guider les chercheurs. Et les archives racontent avec une précision étonnante les dernières heures de Charles de Batz de Castelmore.

D'Artagnan est mort au combat le dimanche 25 juin 1673, à Maastricht. À 62 ans, le capitaine lieutenant de la première compagnie des mousquetaires du roi est l'un des plus fidèles serviteurs de Louis XIV ; il exerce alors la fonction de maréchal de camp. Depuis deux semaines, 40 000 soldats français assiègent cette place forte des Provinces-Unies. Le roi lui-même a quitté Versailles pour diriger les opérations, depuis son quartier général installé dans le village voisin de Wolder. À ses côtés se trouvent les principaux commandants de son armée ainsi que son ingénieur militaire, Vauban, chargé de conduire les travaux de siège qui feront bientôt sa réputation. Et de nombreux princes français ou étrangers sont venus assister à ce qui constitue l'un des grands événements militaires du règne. En deux semaines, 20 000 boulets de canon s'abattront sur la ville.

Une sépulture consacrée pour un personnage important

Ce dimanche, les Français viennent d'ouvrir une brèche dans les remparts et s'apprêtent à enlever les ouvrages avancés qui défendent la porte de Tongres, à l'ouest. *« D'Artagnan était absolument opposé à la stratégie adoptée, déclarant même : "Ce serait folie de s'exposer ainsi au feu de l'ennemi" »*, raconte l'historienne Odile Bordaz, citant le témoignage de Pierre Quarré d'Aligny, maréchal des logis de la première compagnie de mousquetaires et proche de Charles de Batz.

De fait, les Hollandais déclenchent une violente contre-attaque. Selon l'historien militaire Julien Wilmart, qui a reconstitué le déroulement de l'assaut, d'Artagnan se précipite alors au soutien des troupes. Arrivé à la dernière palissade, il recommande la prudence au jeune duc de Monmouth, fils naturel du roi Charles II d'Angleterre. Mais celui-ci s'élance. *« D'Artagnan ne pouvait le laisser partir seul »*, résume Julien Wilmart. Sitôt la palissade franchie, le soldat est frappé mortellement par une balle de mousquet à la gorge. *« On sait, par différents témoignages, que plusieurs mousquetaires aperçurent le corps de leur capitaine lieutenant sur le champ de bataille et qu'ils le ramenèrent derrière les lignes au péril de leur vie »*, précise-t-il. Les offices funèbres sont célébrés le jour même. Et le roi écrira ces mots à la reine Marie-Thérèse : *« Madame, j'ai perdu d'Artagnan, en qui j'avais la dernière confiance, et qui m'était bon à plus d'une chose. »*

Puis, plus rien. Les témoins racontent la mort du mousquetaire, les gazettes rapportent l'émotion qu'elle suscite

VICTORIA ART GALLERY, BATH / BRIDGEMAN IMAGES

Le siège de Maastricht (juin 1673), peint par Jan Wyck. Le jeune duc de Monmouth, celui-là même que d'Artagnan protégera sur le champ de bataille, y commande un contingent de volontaires anglais, engagé aux côtés de l'armée de Louis XIV.

à la cour, mais les archives ne disent pas un mot de sa sépulture. L'énigme va dormir plus de trois siècles, jusqu'à ce que l'historienne Odile Bordaz la rouvre, au début des années 1990. Avec l'archéologue néerlandais Wim Dijkman, elle reprend le dossier depuis le début. *« Tout est parti d'un plan du siège de Maastricht dressé sous la direction de Vauban »,* raconte Odile Bordaz. On y voit le quartier général de Louis XIV installé à Wolder, les mousquetaires campant à quelques dizaines de mètres de l'église Saint-Pierre-et-Saint-Paul. Un détail retient leur attention : dès son arrivée, le roi ordonne que l'édifice protestant soit rendu au culte catholique. Pourquoi cette église, alors que les offices destinés à l'armée sont célébrés sous une tente ?

La réponse surgit dans un registre paroissial. Odile Bordaz y retrouve l'acte d'inhumation d'un personnage important. Tué pendant le siège, il est enterré… dans l'église de Wolder. *« C'est là que nous nous sommes dit que si l'on enterrait là cet officier, il était logique que d'Artagnan ait pu être enterré au même endroit. »* Trente ans plus tard, les fouilles livrent un nouvel indice : le squelette est découvert sous l'emplacement de l'ancien maître-autel du XVIIe siècle, l'un des lieux les plus prestigieux de l'édifice. *« Si l'on exclut la fosse commune, peu probable vu le grade de d'Artagnan, il ne reste que deux possibilités : un cimetière ou une sépulture dans un lieu consacré »,* résume Julien Wilmart. Pour lui, une inhumation dans l'église est compatible avec le rang du mousquetaire et la confiance exceptionnelle que ▸

PHILIPPE MATSAS/OPALE.PHOTO

VERBATIM Odile Bordaz, historienne

« Les morts restaient sur place »

“Nous sommes en pleine guerre. D'Artagnan est tué le 25 juin, Maastricht ne tombe que cinq jours plus tard. Il pleut, il fait chaud, les corps se décomposent rapidement. À l'exception de personnages comme Turenne, dont le corps sera ramené en France deux ans plus tard, dans des circonstances extraordinaires, les morts étaient enterrés sur place. C'est cette logique qui nous a guidés. Nous avons ensuite retrouvé l'acte d'inhumation de l'intendant des cuisines de Monsieur, le frère du roi, enterré le jour même dans l'église du village de Wolder. C'est là que nous nous sommes dit que d'Artagnan avait probablement connu le même destin. Nous ne sommes jamais partis à la recherche d'une preuve unique. En histoire, c'est la convergence des indices qui finit par construire une hypothèse solide.”

STEFANO BIANCHETTI/ BRIDGEMAN IMAGES

D'Artagnan intègre le panthéon des héros de la littérature populaire, ici dans le « Journal des romans populaires illustrés ».

LITTÉRATURE

L'homme de confiance du Roi-Soleil

Ni ferrets de la Reine, ni Milady de Winter, ni les exploits d'Athos, Porthos et Aramis : l'essentiel des aventures qui ont fait la gloire de d'Artagnan est né sous la plume d'Alexandre Dumas (1802-1870). Mais le romancier ne part pas de rien. En 1700, vingt-sept ans après la mort de d'Artagnan, Gatien de Courtilz de Sandras, mousquetaire reconverti en écrivain, publie les *Mémoires de Monsieur d'Artagnan,* qu'il dit avoir côtoyé. Ce récit connaît un immense succès et Dumas reconnaîtra y avoir puisé la trame des *Trois Mousquetaires* (1844). Né vers 1611 dans une famille de la noblesse gasconne, Charles de Batz de Castelmore monte à Paris vers 1630 et adopte le nom de d'Artagnan. Après des débuts dans les armes, il se fait remarquer par Mazarin, qui lui confie déjà des missions délicates. Après la mort de ce dernier, c'est le roi qui le garde comme l'homme des missions spéciales. La plus célèbre survient le 5 septembre 1661. Quand Louis XIV lui donne l'ordre d'arrêter le surintendant Nicolas Fouquet. D'Artagnan veillera sur ce prestigieux prisonnier pendant plus de trois ans. Fait rare, Fouquet ne gardera aucune rancœur envers son geôlier. Madame de Sévigné rapporte qu'il fut *« la seule consolation »* du ministre déchu durant cette période ; l'officier lui prêtant même ses propres fourrures pour franchir les Alpes en hiver. *« Ce ne sont jamais les missions les plus glorieuses qu'on lui confie, mais les plus sensibles »,* précise Julien Wilmart, historien militaire. Capitaine lieutenant de la première compagnie des mousquetaires du roi, d'Artagnan commande l'unité d'élite la plus réputée du royaume, et *« sa carrière est moins celle d'un grand stratège que d'un serviteur dont la fidélité n'a jamais été prise en défaut ».*

lui accordait Louis XIV *(lire l'encadré ci-contre).* Il met toutefois en garde : l'église a été remaniée au fil des siècles et des sépultures ont été perturbées. Surtout, retrouver un officier français enterré à Wolder ne revient pas automatiquement à retrouver d'Artagnan.

La génétique, préalable à la négociation diplomatique

C'est désormais à la génétique de départager les hypothèses. Mais les analyses d'ADN ancien, engagées par l'équipe mandatée par Maastricht, devraient nécessiter au moins cinq mois de travail. Et, là encore, la prudence s'impose. *« Il s'agit d'une tâche délicate, car la généalogie n'est pas toujours la biologie,* rappelle le Pr Maarten Larmuseau, spécialiste en généalogie génétique à l'université catholique de Louvain (Belgique), qui suit de près le dossier. *Plus on remonte les générations, plus augmente la probabilité qu'un père inscrit dans les archives ne soit pas le géniteur. C'est pourquoi il faut tester le plus grand nombre possible de branches familiales. Un seul descendant ne suffit jamais. »* Outre Aymeri de Montesquiou — issu de la lignée maternelle du mousquetaire —, d'autres descendants de la branche paternelle de d'Artagnan en France auraient ainsi fourni des échantillons de sang et de cheveux. Une éventuelle correspondance renforcerait fortement l'hypothèse, mais son absence ne suffirait pas à l'écarter. De fait, il est fort probable que la génétique ne donne pas non plus de certitude absolue.

Quoi qu'il en soit, si l'ADN confirmait un jour l'identité du défunt, l'enquête scientifique laisserait aussitôt place à une autre négociation, diplomatique celle-là. Où d'Artagnan devrait-il reposer ? Aux Invalides ? À Maastricht ? À Lupiac (Gers), ville natale du mousquetaire ? Interrogé quant à une possible restitution de la dépouille, Wim Hillenaar, le maire de Maastricht, élude dans un sourire : *« J'ai hâte d'avoir cette discussion avec les autorités françaises. »* ■

Premiers feux chez les hominines

Dans une grotte d'Afrique du Sud, des ossements carbonisés suggèrent que des représentants du genre *Homo* apportaient déjà du feu depuis l'extérieur il y a peut-être près de 1,8 million d'années, sans pour autant savoir l'allumer.

AP/SIPA

Les traces de combustion analysées proviennent de niveaux situés à environ 30 m de l'entrée de la grotte de Wonderwerk (Afrique du Sud), qui s'étend sur 139 m de long.

Depuis quand les humains utilisent-ils le feu ? En 2012, des traces de combustion (des os carbonisés et des cendres végétales) découvertes dans la grotte de Wonderwerk, en Afrique du Sud, avaient été datées d'environ 1 million d'années. Mais il restait difficile de prouver qu'elles résultaient d'une intervention humaine, les incendies provoqués par la foudre étant fréquents dans cette région. Une partie de l'équipe du paléoanthropologue Michael Chazan, de l'université de Toronto, à l'origine de ces résultats, a donc réexaminé des ossements issus de ces fouilles. Objectif : rechercher de nouvelles preuves plus concluantes. Les scientifiques ont ainsi étudié de petits ossements d'animaux provenant d'une couche stratigraphique datée entre 1,07 et 1,79 million d'années. Leur analyse révèle que plusieurs ont été calcinés, affirment-ils dans une nouvelle publication parue dans la revue *Plos One*.

Pour le démontrer, ils ont utilisé deux méthodes en parallèle : la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (ou IRTF) et la luminescence. Cette dernière, également employée en médecine légale pour mettre en évidence des altérations thermiques des os, est rapide et non destructive. Complémentaire de l'IRTF, elle permet d'identifier des os ayant subi une combustion.

De quoi conclure que des hominines ont mangé des mammifères après avoir soumis leur chair au feu ? Pas si vite. Ces animaux auraient été dévorés par d'autres occupants de Wonderwerk : des chouettes effraies *(Tyto alba)*. Celles-ci rejettent leurs déchets sous forme de pelotes qui recouvraient alors le sol de la grotte. Riches en poils, plumes et tissus animaux, ces pelotes auraient pu faciliter la propagation ou l'entretien d'un feu apporté de l'extérieur par les hominines.

« Les indices concordent avec une utilisation opportuniste »

« Wonderwerk n'a livré aucune preuve de cuisson, insistent les chercheurs. *Au contraire, les indices concordent avec une utilisation opportuniste du feu, montrant que les premiers hominines n'étaient pas de simples spectateurs passifs des incendies naturels. Ils ont introduit le feu, probablement prélevé à l'occasion d'incendies à l'extérieur de la grotte, dans l'abri et l'ont entretenu jusqu'à ce qu'il s'éteigne de lui-même. »*

Selon eux, le feu n'aurait pas pu arriver là tout seul, car les zones où les traces de combustion ont été mises en évidence se trouvaient, au début de l'acheuléen, à environ 30 mètres de l'entrée.

Les auteurs attribuent donc cet usage du feu à des hominines, probablement *Homo erectus,* sans pouvoir identifier l'espèce avec certitude. Les premières traces plus solides de feux volontaires sont néanmoins bien plus récentes, comme celles découvertes il y a environ 800 000 ans à Cueva Negra, en Espagne, et à Gesher Benot Ya'aqov, en Israël. ■

Sara de Lacerda

Arago, le « génie des occasions saisies »

Avant d'être académicien, homme politique et vulgarisateur, François Arago fut un arpenteur du globe. Son récit de jeunesse éclaire la naissance d'une vocation exceptionnelle.

Par Étienne Ghys

En 1687, dans ses *Principia,* Isaac Newton avait prédit qu'en raison de sa rotation, la Terre devait être légèrement aplatie aux pôles et renflée à l'équateur. En France, cette hypothèse allait être mise à l'épreuve par deux expéditions restées célèbres : celle de Pierre Louis Moreau de Maupertuis en Laponie (1736-1737), et celle de Charles Marie de La Condamine près de l'équateur, en Amérique du Sud (1736-1744). Le verdict fut sans appel : la Terre n'est pas une sphère parfaite, mais un corps légèrement aplati.

Lorsque François Arago (1786-1853) entre dans la vie scientifique, tout cela est déjà acquis. Une autre ambition s'impose alors : définir une unité de longueur universelle. La Révolution française et l'Académie des sciences veulent rompre avec la diversité des mesures locales issues de l'Ancien Régime. Le mètre sera ainsi adossé à la Terre elle-même : le quart du méridien terrestre, du pôle à l'équateur, vaudra 10 millions de mètres. L'idée est splendide — encore faut-il mesurer ce méridien. C'est dans ce cadre que s'inscrivent les travaux de Jean-Baptiste Delambre et Pierre-François Méchain, chargés de mesurer l'arc de méridien allant de Dunkerque à Barcelone. À partir de cette portion, on espère extrapoler la longueur totale du quart de méridien. C'est dans ce contexte que débute, en 1806, la vie scientifique d'Arago. Son livre *Histoire de ma jeunesse,* publié à titre posthume en 1854, a été rédigé à la toute fin de sa vie — et c'est l'un des charmes du texte : l'homme mûr y décrit l'enthousiasme intact du jeune homme qu'il fut. Arago ne raconte pas sa jeunesse avec le détachement du grand homme qui bâtirait rétrospectivement son propre monument. Il y a chez lui une manière de se souvenir de ses études, de ses rencontres, des hasards et des périls traversés comme d'une matière encore vibrante.

E.GHYS

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, Étienne Ghys est mathématicien et a reçu la Médaille de la médiation scientifique du CNRS en 2022.

Des remparts de Perpignan aux sommets de la méridienne

Le jeune Arago n'était pourtant pas promis à une telle carrière. Il raconte lui-même comment sa vie bascula presque par accident. À Perpignan, où sa famille s'était installée, il croise un jour sur les remparts un très jeune officier. Intrigué de le voir porter si tôt l'épaulette, il lui demande comment il y est parvenu. L'officier lui répond simplement : il sort de l'École polytechnique. Arago, qui ignore alors presque tout de cette école, se précipite pour consulter le programme du concours ; à partir de cet instant, dit-il, il abandonne ses études littéraires pour se consacrer aux mathématiques. Toute une vocation naît ainsi d'une rencontre fortuite sur un rempart.

Arago a le génie des occasions saisies. Un hasard se présente : il en fait une destinée. Un livre lui résiste, il persévère. Il rapporte même qu'une

GROB / KHARBINE / LA COLLECTION

En 1806, François Arago et Jean-Baptiste Biot, prolongent en Espagne la mesure du méridien de Paris, une mission bientôt interrompue par la guerre.

phrase cachée sous la couverture bleue d'un traité d'algèbre — un conseil de Jean Le Rond d'Alembert, découvert en décollant le papier —, agit sur lui comme une révélation : *« Allez, Monsieur, allez, et la foi vous viendra. »* Il comprend alors qu'il faut parfois avancer avant de tout comprendre, poursuivre sa route avec confiance, et que l'intelligence vient aussi par fidélité à l'effort.

Quand Arago part en Espagne pour prolonger la méridienne vers les Baléares, il n'a que vingt ans. En apparence, il s'agit d'une mission austère : grimper sur des sommets, installer des instruments, faire des visées, mesurer des angles, recommencer, attendre le beau temps, vérifier, calculer. Mais sous sa plume, tout devient une aventure : le jeune savant gravit les montagnes avec son matériel, guette pendant des heures un signal lumineux, recommence une observation compromise par le brouillard. La géodésie n'est plus une suite de nombres, mais une expérience physique du monde.

Puis l'Histoire, la grande, fait irruption dans la petite histoire du savant. La guerre entre la France et l'Espagne transforme soudain l'observateur en personnage suspect. Qu'est-ce que cet étranger qui monte sur les hauteurs avec des lunettes, des cercles répétiteurs, des papiers et des chiffres ? Aux yeux des populations locales, il ressemble beaucoup à un espion. Arago est arrêté, interrogé, relâché, menacé à nouveau. Il lui faut expliquer sans cesse ce qu'est une mesure d'angle, ce qu'est une triangulation *(lire l'encadré)*, et pourquoi un homme peut passer des journées entières à regarder au loin depuis une montagne.

Prisons, tempêtes et bagnes sur la route du retour

Le récit devient alors presque picaresque. Il décrit des prisons, des malentendus, des protecteurs inattendus, des moments d'angoisse, des épisodes où la survie dépend d'un détail, d'une rencontre, d'une décision prise dans l'urgence. Arago garde ▸

pourtant un ton extraordinaire de sang-froid. Il note les caractères, les situations, les usages. On a parfois l'impression qu'il continue à faire de la science avec les événements eux-mêmes. L'un des épisodes les plus frappants est celui qui le conduit en Algérie. On imagine aujourd'hui la Méditerranée comme un espace familier, presque banal à traverser. Son récit rappelle qu'au début du XIXe siècle, le voyage maritime est une aventure à part entière. Arago embarque pour regagner la France, mais les vents et les circonstances dévient sa route. Son odyssée le mène à Alger, où il séjourne dans des conditions pleines de dangers et d'incertitudes. Le récit enchaîne ces épisodes comme autant de scènes de roman : voyage imprévu vers l'Algérie, séjour au bagne d'Alger, départ difficile, traversée vers Marseille… Cette seule succession suffit à montrer combien on est loin de l'image d'un savant enfermé dans son cabinet.

Dans un passage savoureux, Arago raconte une scène où il sert d'interprète lors d'une interception en mer, tandis qu'on exige du thé, du café et du sucre à un capitaine exaspéré, qui les traite de brigands. Le jeune savant se trouve ainsi plongé dans un théâtre maritime où la géodésie a cédé la place à la survie et à la diplomatie improvisée. Il est finalement de retour à Marseille le 2 juillet 1809. Il ajoute cette phrase merveilleuse : *« On va aujourd'hui d'Alger à Marseille en quatre jours ; j'avais employé onze mois pour faire la même traversée. Il est vrai que j'avais fait çà et là des séjours involontaires. »* Quatre jours lui paraissent aller vite ; pour nous, cette *« rapidité »* appartient à un autre âge.

L'arrivée en France n'est pourtant pas encore le retour à la liberté. Il faut passer par la quarantaine du lazaret de Marseille. Là encore, le texte regorge de détails concrets, de petites scènes touchantes. Arago raconte ainsi, avec une émotion étonnante, la mort d'une gazelle que la petite colonie algérienne du lazaret aimait voir bondir dans un enclos voisin. Même dans cet entre-deux sanitaire, après tant de périls, le regard du savant demeure attentif au vivant, à la douleur, au détail significatif.

UNIVERSAL HISTORY ARCHIVE/UIG / BRIDGEMAN IMAGES

Depuis sa création en 1887, la médaille Arago, décernée tous les quatre ans par l'Académie des sciences, distingue les contributions les plus importantes en astronomie.

Homme politique important et inlassable passeur de sciences

Dès son arrivée à l'Académie des sciences à Paris, il dépose les observations qu'il est parvenu à conserver *« au milieu des périls et des tribulations de [sa] longue campagne »*. Comment ne pas être admiratif ? Ses carnets, ses papiers, ses calculs, ses instruments, tout ce par quoi la science se matérialise, ont survécu avec lui. Voilà une forme d'abnégation et de fidélité à la mission qui force le respect. Le retour de ce jeune homme à Paris est à la mesure du reste : spectaculaire.

Quelques semaines après la fin de sa quarantaine, il est élu à l'Académie des sciences en septembre 1809, à l'âge de vingt-trois ans. Arago deviendra un savant majeur, travaillant en astronomie, en optique, en magnétisme, en météorologie. Il fut aussi un homme politique important, en particulier en 1848. Et il fut un passeur exceptionnel de science : ses leçons d'astronomie populaire connurent un succès considérable, contribuant à installer l'idée qu'une science de haut niveau pouvait être énoncée clairement, sans être défigurée. Lire *Histoire de ma jeunesse,* c'est découvrir un autoportrait indirect du savant tel qu'il doit être : curieux, courageux, disponible à l'imprévu, obstiné dans le travail, mais capable aussi de raconter, de partager et de transmettre. ■

GÉODÉSIE

Mesurer la Terre avec des triangles

Pour mesurer de très grandes distances, on utilise une triangulation. On mesure d'abord soigneusement une base, une distance relativement courte tracée sur un terrain favorable. Puis, depuis les extrémités de cette base, on vise un troisième point éloigné, par exemple un clocher, une tour ou un sommet. Et la mesure des angles permet de calculer les autres côtés du triangle. Ce premier triangle sert alors de point de départ pour en construire un second, puis un troisième, et ainsi de suite, jusqu'à obtenir un vaste réseau de triangles couvrant tout un pays.

Dans le cas du mètre, ce réseau a permis de relier, le long du méridien de Paris, des points allant de Dunkerque à Barcelone. Mais ces triangles ne sont pas tracés sur un plan : ils épousent la surface courbe de la Terre. Ce sont donc des triangles sphériques, dont la somme des angles dépasse légèrement 180 degrés, un écart où se cachent des questions mathématiques profondes. C'est en cherchant à mesurer la Terre avec précision que des savants comme Adrien-Marie Legendre et Carl Friedrich Gauss ont compris que la géométrie dépend aussi de l'espace dans lequel on travaille.

SCIENCES ET AVENIR

Profitez des avantages numériques compris dans votre abonnement !

Chère abonnée, cher abonné,

Chaque semaine, la Rédaction de Sciences et Avenir crée et met en ligne sur www.sciencesetavenir.fr 15 articles exclusifs réservés aux abonnés que vous ne trouverez pas dans le magazine. Pour y accéder et profiter pleinement de tous vos services numériques, **vous devez activer votre compte abonné.**

Vous aurez ainsi également accès sur le site www.sciencesetavenir.fr à :

- **La bibliothèque numérique** avec les magazines compris dans votre abonnement,
- **Une douzaine de vidéos** (reportages, entretiens, démonstrations par les labos de recherche…) par mois,
- **La lecture audio** des articles du site,
- L'accès aux magazines sur votre smartphone ou tablette via **l'application « Sciences et avenir le magazine »**,
- L'accès au contenu du site sciencesetavenir.fr avec l'application « **Sciences et avenir** »,
- Une navigation zen allégée en publicité.

Comment accéder à tous ces services ? En créant votre compte sur www.sciencesetavenir.fr :

1. Notez votre numéro d'abonné indiqué sur le « film » d'emballage de votre magazine (ex SCA **0/123456**). Si vous ne l'avez pas, contactez le service client au **01 55 56 71 48** ou envoyez un mail à **abonnements@sciencesetavenir.com**
2. Rendez-vous sur www.sciencesetavenir.fr et cliquez sur « Se connecter »
3. Cliquez sur « créer un compte » et remplissez le formulaire avec les informations demandées.

Pour télécharger les applications Sciences et Avenir et Sciences et Avenir Le magazine

Si vous avez un smartphone ou une tablette Apple, rendez-vous sur l'App Store de votre appareil
Pour les autres smartphones et tablettes, rendez-vous sur le Google Play de votre appareil

Alors n'hésitez plus, rendez-vous dès à présent sur www.sciencesetavenir.fr

AACTIVATION25

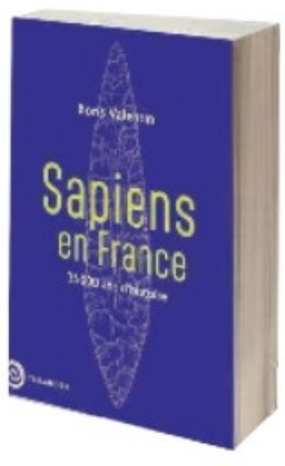
ANDIA

Dans la grotte Chauvet (ici, sa copie), Sapiens a inventé une forme d'« expressionnisme ».

La France avant les premiers paysans

Le préhistorien Boris Valentin raconte comment l'épopée de Sapiens hors d'Afrique l'a conduit dans nos contrées, où il a développé des innovations artistiques et techniques exceptionnelles.

CRÉATIVITÉ L'histoire de Sapiens sur le territoire que nous connaissons aujourd'hui comme la « France » démarre il y a environ 42 000 ans. À cette époque, la région est occupée par des steppes froides et des forêts clairsemées, jusqu'à ce que les bois recouvrent toute l'Europe, il y a 12 000 ans. C'est le passage du paléolithique récent au mésolithique. Préhistorien et archéologue, professeur à l'université Paris-I Panthéon-Sorbonne, Boris Valentin raconte avec passion comment l'humain y a évolué, jusqu'à l'adoption de l'agriculture, il y a 7000 ans. Soit durant quelque 1400 générations !



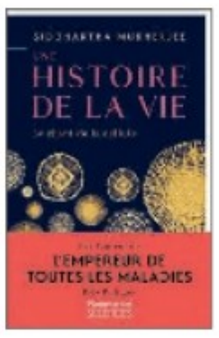
Cette période voit se déployer une créativité exceptionnelle. D'abord avec Chauvet, la plus ancienne grotte ornée européenne connue. « *Recréer l'animal par l'esprit et le geste et l'inscrire dans l'inframonde des abris-sous-roche et des grottes constituèrent alors des nouveautés radicales. (…) Transcrire ainsi des animaux peut même rétrospectivement nous apparaître comme une première séparation entre l'humain et son entourage* », écrit l'auteur. À Lascaux, « *ce sont bien des images mentales qui primaient sur le réel, lequel imposait donc peu de limites à la figuration* ». Et la France compte près de 200 grottes ornées ! Mais l'art pariétal disparaît après -14 700. Un brusque réchauffement amorce « *le temps des révolutions* » techniques et artistiques. Au-delà de ce récit, le spécialiste accorde une large place en fin d'ouvrage à la pratique de l'archéologie, sans oublier un glossaire très complet. Une référence. ■ **Mathieu Nowak**

Sapiens en France, 35 000 ans d'histoire, Boris Valentin, Tallandier, 384 p., 23,50 €.

SOMMAIRE

▶ C'est à lire p. 82
▶ C'est à voir p. 84
▶ Questions de lecteurs p. 86
▶ Courrier p. 87
▶ Le ciel du mois p. 88
▶ À retrouver sur le Web p. 90

L'histoire de la cellule

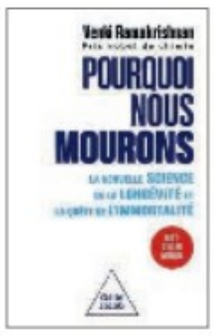


RÉCIT Après le cancer dans *L'Empereur de toutes les maladies* (prix Pulitzer 2011), le professeur en oncologie à l'université Columbia consacre son nouveau livre à la cellule, unité fondamentale du vivant. Des premiers microscopes aux promesses de l'immunothérapie, il retrace quatre siècles de découvertes, mêlant histoire des sciences et portraits de pionniers. Un récit foisonnant qui montre comment l'étude de l'infiniment petit a transformé notre compréhension du vivant, de la santé et des maladies. ■ **H.J.**

Une histoire de la vie : le chant de la cellule, Siddhartha Mukherjee, Flammarion, 576 p., 25 €

Immortels, vraiment ?

ENQUÊTE Pourquoi vieillissons-nous ? Peut-on ralentir, voire empêcher, ce processus ? Prix Nobel de chimie 2009, Venki Ramakrishnan explore les ressorts moléculaires du vieillissement et examine les stratégies imaginées pour le freiner. Loin des promesses d'immortalité, il distingue



les pistes les plus solides des effets d'annonce et interroge les conséquences d'une vie toujours plus longue. Une plongée dans l'une des grandes questions de la biologie contemporaine. ■ **H. J.**

Pourquoi nous mourons, Venki Ramakrishnan, Odile Jacob, 400 p., 25,90 €

Les merveilles du vivant

PROMENADE Issu de la série radiophonique *Le Monde merveilleux du vivant,* ce livre propose une promenade en quatre volets, de la naissance

de l'Univers aux prodiges de la biosphère terrestre, pour *« comprendre l'histoire incroyable dont nous sommes issus »,* résume l'auteur. On y croise le papillon bogong, qui s'oriente grâce à la Voie lactée, des pieds de tomates qui parlent entre eux, ou une pieuvre qui change de couleur sans les voir elle-même. Avec une tonalité méditative, mais bien ancrée dans les connaissances actuelles. ■ **F. D.**

La Boussole céleste du papillon, Benoit Prospero, Éditions Tana, 128 p., 21,90 €

Dans la peau de Marion Montaigne

Vous avez aimé *Dans la combi de Thomas Pesquet,* paru il y a neuf ans ? Il y a des chances que vous aimiez encore plus ce second volume des aventures du spationaute… et de sa dessinatrice (un peu) moins illustre. Si le premier tome suivait l'entraînement exigeant d'individus appelés à vivre la conquête spatiale, le second en constitue le miroir inversé. Celui du parcours d'une dessinatrice anxieuse, complexée, sujette à phlébites, et qui est, un jour, amenée à croiser Thomas Pesquet et à le suivre sur trois continents. Lui, l'aigle, le condor. Elle, le ver de terre (la comparaison est de l'autrice) en immersion dans le monde du spatial. C'est toujours aussi précis, documenté, et amusant. Le talent de l'autrice pour croquer avec dérision ses personnages ne se dément pas. Et c'est d'autant plus remarquable qu'elle est celle qui s'épargne le moins. ■ **H. R.**

Space Montaigne, Marion Montaigne, Dargaud, 166 p., 25,95 €

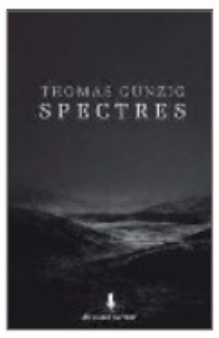
Les tiques sous haute surveillance

Cet ouvrage collectif réussit l'exploit de présenter au grand public les connaissances actuelles sur les tiques, les problèmes sanitaires qu'elles entraînent, et les façons de les éviter. Le cycle biologique de ces acariens, qui se nourrissent de sang pour effectuer leurs métamorphoses successives, leur impose de parasiter des animaux, ce qui en fait des vecteurs efficaces pour de nombreux pathogènes. Chez l'humain, elles transmettent des bactéries, comme dans la maladie de Lyme, ou des virus, ou dans l'encéphalite du virus à tiques. Chez le bétail, elles causent de redoutables maladies, telles la babésiose aux États-Unis et la cowdriose aux Antilles. Le livre rappelle aussi des réalités de terrain, notamment que la maladie de Lyme était déjà présente chez Ötzi au néolithique, que son incidence ne semble pas augmenter en France, et que la transmission de la bactérie demande souvent plus de 24 heures, tandis que celle du virus de l'encéphalite dure moins d'une heure. Pour limiter le risque d'exposition, il est recommandé d'éviter les aires humides et à l'ombre. ■ **P. K.**

Tiques et santé, biologie, maladies, maîtrise du risque, Claude Rispe, Laure Bournez, Jonas Durand, Olivier Duron, Magalie René-Martellet, Éditions Quae, 120 p., 17 €.

Science-fiction et suspense quantique

ROMAN Bâtir un roman de science-fiction d'une redoutable efficacité en s'appuyant sur un concept physique aussi complexe que la gravitation quantique à boucles : voilà le tour de force réalisé par l'écrivain



belge Thomas Gunzig. Loin du simple gadget scientifique, cette idée nourrit une réflexion quasi métaphysique sur l'exploitation sans limite des ressources, qui va jusqu'à piller l'au-delà. Porté par un sens aigu du suspense, *Spectres* conjugue science-fiction, récit post-apocalyptique et critique sociale. ■ **F. N.**

Spectres, Thomas Gunzig. Au diable vauvert, 396 p., 23 €

C'EST À VOIR

▶ **Ce symbole désigne les nouvelles expositions**

EXPOSITIONS

Draguignan (83)

Inca. L'héritage sacré des Andes
À travers 235 chefs-d'œuvre, dont certains présentés pour la première fois hors du Pérou, cette exposition retrace 3000 ans de civilisations précolombiennes andines, jusqu'à la civilisation inca et sa cosmologie dans laquelle êtres vivants et objets sont animés par une énergie sacrée.
Hôtel départemental des expositions du Var, 1, bd Maréchal Foch, jusqu'au 27 septembre. Rens.: 04.83.95.34.08.

Le Bourget (93)

Drôles de vols - Caricaturer les expériences aériennes
Le parcours revisite les grandes expériences aériennes à travers le regard mordant des caricaturistes, oscillant entre fascination pour le progrès et satire sociale.
Musée de l'Air et de l'Espace, 3, esplanade de l'Air et de l'Espace, jusqu'au 3 janvier 2027. Rens.: 01.49.92.70.00.

Nemours (77)

▶ **Ça en jette ! Quand l'archéologie s'intéresse à nos déchets**
Témoins du quotidien, les déchets donnent à voir les modes de vie, de production et de consommation des sociétés humaines.
Musée de Préhistoire d'Île-de-France, 48, avenue Étienne Dailly, jusqu'au 30 décembre. Rens.: 01.64.78.54.80.

Nîmes (30)

L'art romain du Louvre
En collaboration avec le Louvre, le musée de la Romanité invite à redécouvrir les fonctions concrètes et sociales des objets d'art, avec une sélection d'œuvres romaines exceptionnelles.
Musée de la Romanité, 16, boulevard des Arènes, jusqu'au 10 janvier 2027. Rens.: 04.48.21.02.10.

Paris (75)

▶ **Animalia. Bestiaire de la collection Al Thani**
Créatures réelles ou imaginaires, ce bestiaire de plus de 120 œuvres, de l'Antiquité à nos jours, montre la fascination intemporelle des humains pour le royaume animal.
Hôtel de la Marine, 2, place de la Concorde, jusqu'au 10 janvier 2027. Rens.: www.hotel-de-la-marine.paris/

Plumes du paradis
Maître dans l'art de la parade grâce à son plumage et ses chorégraphies, l'oiseau de paradis fascine depuis les premiers siècles de notre ère, bien au-delà des forêts de Nouvelle-Guinée dont il est originaire.
Musée du quai Branly – Jacques Chirac, 37, quai Branly, jusqu'au 8 novembre. Rens.: 01.56.61.70.00.

▶ **Sur les traces des dinosaures**
Les dinosaures du Muséum sont rejoints par de remarquables spécimens du musée d'Angoulême. L'occasion de reconstruire un panorama de leurs environnements disparus.
Muséum national d'histoire naturelle, 57, rue Cuvier, jusqu'au 4 janvier 2028. Rens.: 01.40.79.56.01.

Toutankhamon : son tombeau et ses trésors
Sur les pas de l'archéologue Howard Carter, le visiteur revit près de 100 ans plus tard la découverte du tombeau du jeune pharaon, grâce à une reconstitution fidèle, sur plus de 2500 mètres carrés, des chambres funéraires et des trésors qu'elles contenaient.
Paris Expo, 4 place de la Porte de Versailles, jusqu'au 6 septembre. Rens.: www.tut-exhibit.com/

MUSÉE NATIONAL DE LA MARINE/G. DE CARVALHO

▶ **Carte sur parchemin** de la Méditerranée et de l'Atlantique (1537).

Brest (29) / Exposition

Le dessous des mers. L'aventure de la cartographie sous-marine

Véritable ode aux fonds marins, le cycle d'expositions *L'Appel des profondeurs* propose une plongée dans les remous de l'exploration marine. Après un volet sur les machines des mers, celui-ci se concentre sur la cartographie. Des premières cartes marines, peuplées de créatures fantastiques, aux dernières modélisations 3D, le parcours retrace cinq siècles d'innovations pour mesurer et représenter ces territoires méconnus. Le récit s'intègre aussi à l'échelle locale, puisque c'est à Brest que fut créé le plus ancien service de cartographie marine au monde. À travers des maquettes, des instruments de navigation et des cartes d'une précision impressionnante, l'exposition rend compte de ce travail titanesque, et des enjeux contemporains d'archéologie, de biodiversité et de défense qui en dépendent. Car, encore aujourd'hui, les fonds marins sont moins bien connus que la surface de la Lune, alors qu'ils constituent des zones de ressources et de tensions géopolitiques intenses. ■ **Thaïs de Bastard**

Musée national de la Marine, Boulevard de la Marine, jusqu'au 7 mars 2027. Rens.: 02.98.22.12.39.

Rouen (76)

Sous la pluie. Comprendre, vivre et s'adapter
Au Pavillon des transitions, la célèbre « pluie normande » est déclinée sous toutes ses facettes scientifiques : cycles de l'eau, orages, source de vie, défis climatiques.
Pavillon des transitions, quai de Boisguilbert, jusqu'au 20 septembre. Rens. : 02.76.30.32.10.

Strasbourg (67)

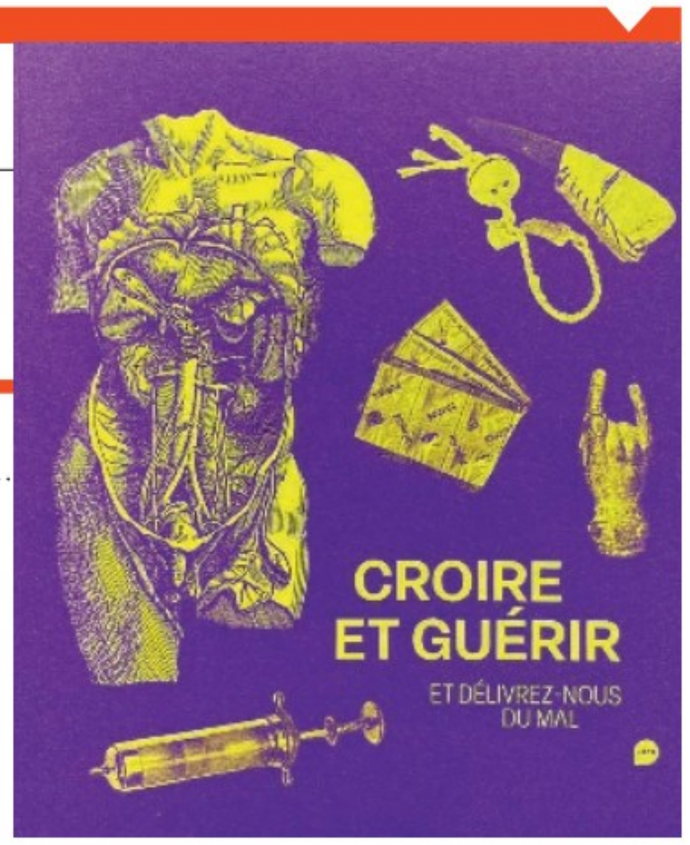
BiodiverCité. Les animaux de la ville
L'exposition donne à voir la coexistence entre les citadins et les espèces animales peuplant les villes, en particulier à Strasbourg.
Musée zoologique, 29, boulevard de la Victoire, jusqu'au 31 décembre. Rens. : 03.68.98.50.00.

Toulouse (31)

Epsilon
Suivre en temps réel la position de Sophie Adenot à bord de la Station spatiale internationale (ISS), partager ses sorties extra-véhiculaires, son quotidien, ses expériences scientifiques… Une exposition au rythme de l'avancée de sa mission.
Cité de l'Espace, avenue Jean Gonord, jusqu'au 31 décembre. Rens. : 05.67.22.23.24.

Saint-Denis (93) / Exposition

Croire et guérir. Et délivrez-nous du mal



La médecine n'a pas attendu la découverte des cellules et des micro-organismes pour exister. Longtemps, elle fut étroitement liée à la religion, comme si la douleur ne pouvait provenir que d'un mal plus profond. Les malades étaient soignés dans des établissements tenus par des congrégations religieuses ; des traitements s'accompagnaient de pratiques rituelles, tandis que la pharmacopée rassemblait des substances thérapeutiques d'origine végétale et animale. Dans de nombreuses régions du monde, ces médecines dites « traditionnelles » perdurent, s'opposant aux médecines modernes. Comment sciences et croyances s'articulent-elles autour de la santé, du Moyen Âge à notre époque ? Présentée dans l'ancien couvent du Carmel de Saint-Denis, cette exposition réunit de remarquables œuvres provenant de l'ancien Hôtel-Dieu dyonisien, du Mucem et du musée du quai Branly. ■ **T. de B.**

Musée d'art et d'histoire Paul Éluard, 22 bis, rue Gabriel-Péri, jusqu'au 15 novembre. Rens. : 01.83.72.24.57.

Versailles (78)

Jardins des Lumières, 1750-1800
Loin de la géométrie stricte des jardins à la française, l'art paysager des Lumières aspire à créer un dialogue plus libre avec la nature, ainsi que des espaces propices à la contemplation.
Grand Trianon, Château de Versailles, jusqu'au 27 septembre. Rens. : 01.30.83.78.00.

Yerres (91)

▶ **« La nature n'est pas un décor »**
Ce dialogue entre Monet et des artistes contemporains rappelle notre lien sensible avec ce qu'on appelle « nature » et « paysage ».
Maison Caillebotte, 8 rue de Concy, jusqu'au 18 octobre. Rens. : 01.80.37.20.61.

Scannez ce QR code pour retrouver toutes les expositions

Une formidable diversité

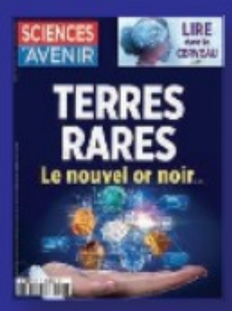
11 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous

N° 946 Les géniales "erreurs" d'Einstein

N° 947 Spécial Aux origines

N° 948 La nouvelle conquête de la Lune

N° 949 IA : comment elle révolutionne la santé



N° 950 Terres rares, le nouvel or noir

N° 951 Accélérateur de particules

N° 952 Les bienfaits de la marche

N° 953-954 Et si… 25 scénarios qui changent tout

Bon de commande

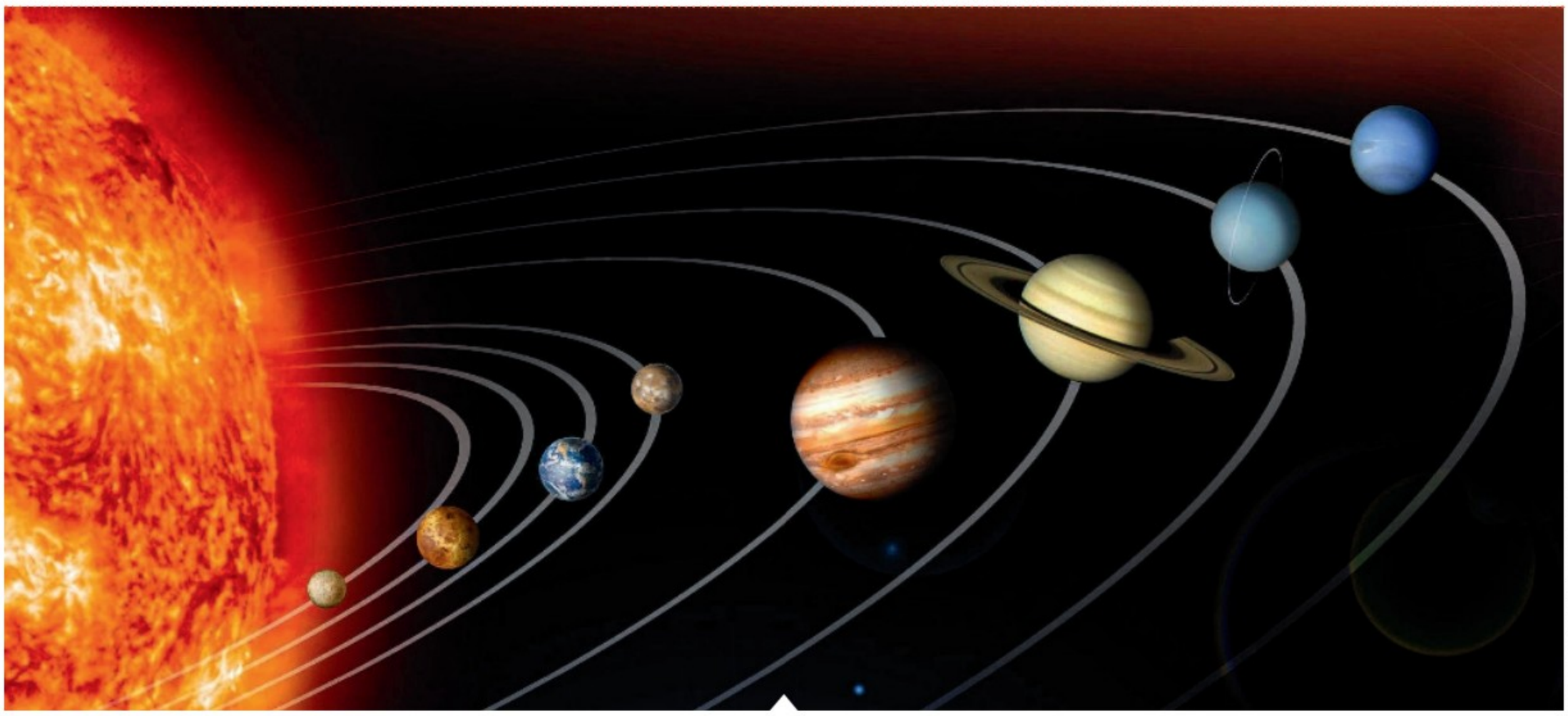
Je commande les numéros ci-après au prix de : 7 € par numéro payable par chèque à l'ordre de *Sciences et Avenir* (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir - service des abonnements 45, av. du Général-Leclerc 60643 Chantilly Cedex

❑ N° 946 ❑ N° 947 ❑ N° 948 ❑ N° 949
❑ N° 950 ❑ N° 951 ❑ N° 952 ❑ N° 953-954

Nom : .....
Adresse : ..... Ville : .....
.....
Code postal : .....

Posez vos questions sur la page **Facebook** de **Sciences et Avenir** ou par **courriel**



NASA/JPL/SCIENCE PHOTO LIBRARY

La température moyenne à la surface d'une planète dépend de sa proximité avec le Soleil, mais aussi de son atmosphère.

ASTRONOMIE

Pourquoi Mercure est-elle moins chaude que Vénus, alors qu'elle est plus proche du Soleil ?

Buchaniec A.

Mercure est la planète la plus proche du Soleil. Intuitivement, on pourrait donc penser qu'elle est également la plus chaude du Système solaire. Pourtant, le record appartient à Vénus, où la température moyenne atteint près de 462 °C, contre un maximum d'environ 430 °C sur Mercure. Un paradoxe apparent qui s'explique par un élément essentiel : l'atmosphère. La distance au Soleil joue de fait un rôle majeur : plus une planète est proche de notre étoile, plus elle reçoit d'énergie. Mais cette règle ne suffit pas à déterminer sa température réelle. Par ailleurs, tout dépend également de la capacité de la planète à conserver cette chaleur.

Or, Mercure est presque dépourvue d'atmosphère. Elle ne possède qu'une enveloppe gazeuse extrêmement ténue, incapable de retenir l'énergie solaire. Sa surface se comporte donc un peu comme une pierre exposée au soleil : elle chauffe très rapidement lorsqu'elle est éclairée, mais se refroidit tout aussi vite dès que la nuit tombe. Résultat, les écarts thermiques y sont gigantesques : plus de 430 °C le jour, mais jusqu'à -180 °C la nuit ! Vénus, pour sa part, présente une situation totalement différente. Bien que légèrement plus éloignée du Soleil, elle est entourée d'une atmosphère très dense, composée principalement de dioxyde de carbone (CO_2). Ce gaz est un puissant effet de serre : il laisse pénétrer la lumière solaire, puis piège la chaleur et l'empêche de s'échapper dans l'espace.

Cette chaleur s'accumule alors en permanence dans l'atmosphère de Vénus. La température reste quasi uniforme sur toute la planète, autour de 462 °C, aussi bien le jour que la nuit. La pression atmosphérique, environ 90 fois supérieure à celle de la Terre, accentue encore ce phénomène en comprimant les gaz et en renforçant leur échauffement. On peut comparer Vénus à une gigantesque serre devenue incontrôlable. Là où l'effet de serre de la Terre maintient une température moyenne compatible avec la vie, celui de Vénus s'est emballé au point de transformer la planète en véritable fournaise.

Ainsi, la température d'une planète ne dépend pas seulement de sa distance au Soleil. L'atmosphère — sa densité et sa composition — joue un rôle déterminant dans la manière dont la chaleur est conservée ou dissipée. ■

Lise Loumé

BIOLOGIE

Pourquoi les enfants se lèvent-ils tôt quand ils se couchent tard?

Annick P.

Chez les enfants, l'horloge biologique est très sensible à la régularité des horaires. Même couchés plus tard, ils continuent souvent à se réveiller à la même heure, car leur rythme circadien reste calé sur les signaux du matin, comme la lumière. En retardant le coucher, on réduit surtout le sommeil profond du début de nuit, essentiel à la récupération. Résultat: le sommeil est plus fragmenté et l'enfant, moins reposé, continue souvent à se lever tôt malgré une nuit plus courte. Se coucher tard ne crée donc pas de « bonus » de repos et peut, au contraire, accentuer la fatigue. ■ **L. L.**

ORNITHOLOGIE

Les nichoirs, une solution pour les oiseaux menacés?

Erwan R.

Les nichoirs contribuent à préserver certaines espèces d'oiseaux menacées lorsque leur déclin est lié au manque de sites de reproduction. À titre d'exemple, la LPO a lancé l'opération « Une chouette, un village » pour installer, d'ici à 2027, 3000 nichoirs dans 60 départements, notamment destinés aux chouettes effraies, pour compenser la disparition des cavités dans les granges et les clochers rénovés. Si ces refuges artificiels donnent souvent des résultats encourageants à l'échelle locale, ils ne suffiront pas à eux seuls à enrayer le déclin des espèces, menacées par les collisions routières, les pesticides ou la déforestation. ■ **L. L.**

Courriels à: **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

« Les bienfaits de la marche »
(*Sciences et Avenir* n° 952, juin 2026)

Vous évoquez une nouvelle technique américaine du *walk and talk* (*S. et A.* n° 952). Elle remonte en fait au IVe siècle av. J.-C. avec Aristote et les péripatéticiens qui se promenaient en cercle dans un jardin tout en devisant autour du maître, cela afin que la conversation soit nourrie et approfondie par l'environnement.

Denis Beylier

S. et A.: Vous avez raison de rappeler que l'idée de penser et d'échanger en marchant est ancienne. Ce qui est récent, c'est l'intégration structurée de cette pratique dans le champ de la psychothérapie, notamment dans les pays anglo-saxons.

Aubes et crépuscules d'une exoplanète

Je vous remercie pour l'ouverture et la qualité générale de vos articles. Toutefois, j'ai été interpellé par votre article « Une exoplanète aux matins nuageux » (*S. et A.* n° 953-954). Vous écrivez: *« L'aube se lève sous d'épais nuages de roche et de métal… qui se dissipent progressivement au crépuscule »*, et un peu plus loin *« comme la Lune avec la Terre, elle présente toujours la même face à son soleil »*. Comment peut-il y avoir des matins et des crépuscules sur une planète qui présente toujours la même face à son soleil, puisque justement l'alternance de jour et de nuit découle de l'exposition temporaire et cyclique de cette face à son étoile?

Jean-Pierre Goulée

S. et A.: Il est tout à fait possible de parler d'« aube » et de « crépuscule » sur une planète qui présente toujours la même face à son étoile. Dans ce cas, il n'y a pas d'alternance jour-nuit due à la rotation de la planète, mais il existe une frontière permanente entre l'hémisphère éclairé et l'hémisphère plongé dans l'obscurité, appelée le « terminateur ». Les régions situées de part et d'autre de cette ligne correspondent respectivement aux zones d'aube et de crépuscule. En s'y déplaçant, un observateur verrait le Soleil apparaître ou disparaître à l'horizon, comme lors d'un lever ou d'un coucher de Soleil sur Terre.

Cadmium et cancer

J'ai lu avec intérêt cet article sur le cadmium (*S. et A.* n° 952). L'équipe du professeur Mathieu Gautier a observé que des modèles de cellules humaines pancréatiques saines acquièrent des propriétés cancéreuses après une exposition chronique de sept mois au cadmium. Puis il conclut: *« Mais, à ce jour, aucun lien de cause à effet n'est clairement établi. »* Pourtant, son expérience semble bien montrer un lien de cause à effet.

Pascal Villain

S. et A.: Mathieu Gautier reste prudent dans ses propos et pour cause: les études épidémiologiques sont observationnelles et ne permettent pas d'établir un lien de cause à effet direct. Il voulait surtout souligner que si l'exposition au cadmium peut contribuer à la survenue d'un cancer du pancréas, elle ne justifie pas à elle seule l'explosion des cas en France et dans le monde, tant cette pathologie est multifactorielle.

Précision

Dans le reportage sur les palimpsestes (n° 951), nous avons écrit par erreur que le cuir était transformé en parchemin. Or ce dernier est bien fait de la peau d'un animal, mais non tannée, contrairement au cuir.

LE CIEL DE SEPTEMBRE

PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

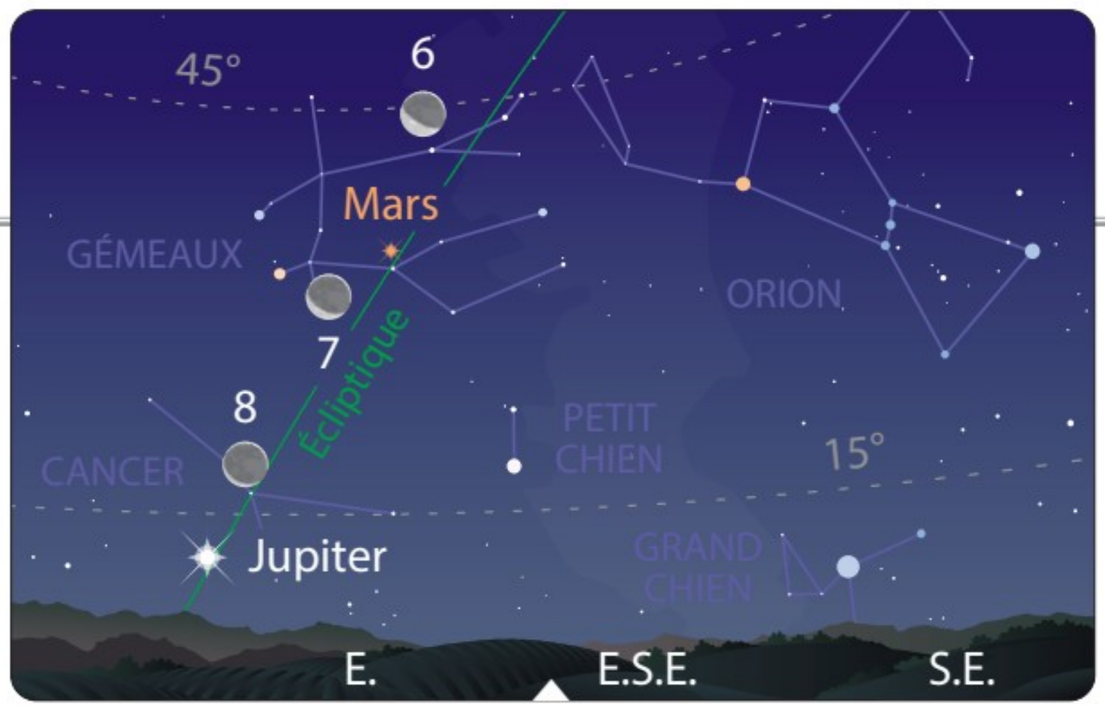
MERCURE
La petite planète n'est pas visible sous nos latitudes, noyée dans les lumières du crépuscule.

VÉNUS
L'étoile du Berger est de plus en plus difficile à observer le soir, s'abaissant petit à petit vers l'horizon ouest-sud-ouest. Elle disparaît dans le couchant en fin de mois.

MARS
La planète Rouge est désormais bien installée dans le ciel de fin de nuit. Au petit matin, on la trouve à mi-hauteur vers l'est. Encore moyennement brillante, elle quitte les Gémeaux pour le Cancer le 25.

JUPITER
La planète géante émerge rapidement des lueurs de l'aube. Le 1er, elle se lève 2 h 15 avant le Soleil et le 30, 4 h 20 avant lui. Grâce à son grand éclat, elle devient facilement observable en fin de mois le matin au-dessus de l'horizon est. Jupiter quitte le Cancer pour le Lion le 23.

SATURNE
À un mois de son passage à l'opposition, la planète aux anneaux est déjà dans de très bonnes conditions d'observation. Elle se lève en soirée et culmine en seconde partie de nuit à plus de 40° de hauteur. Elle quitte les Poissons pour la Baleine le 6.



Position de la Lune du 6 au 8 septembre, une heure et demie avant le lever du Soleil. La Lune, Mars et Jupiter sont quasi alignées le long de l'écliptique.

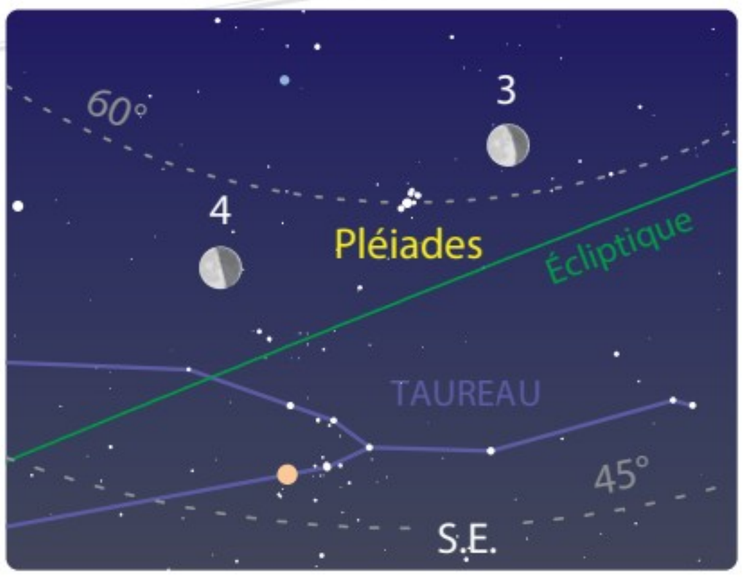
La Lune, d'une planète à l'autre

DU 6 AU 8, LA LUNE DÉCROISSANTE TRAVERSE LE CIEL DE L'AUBE, en passant successivement près de Mars puis de Jupiter. Les deux planètes, comme la Lune, restent proches de l'écliptique, très relevé le matin au-dessus de l'horizon à cette époque de l'année. À droite, Orion annonce déjà le retour des grandes constellations hivernales.

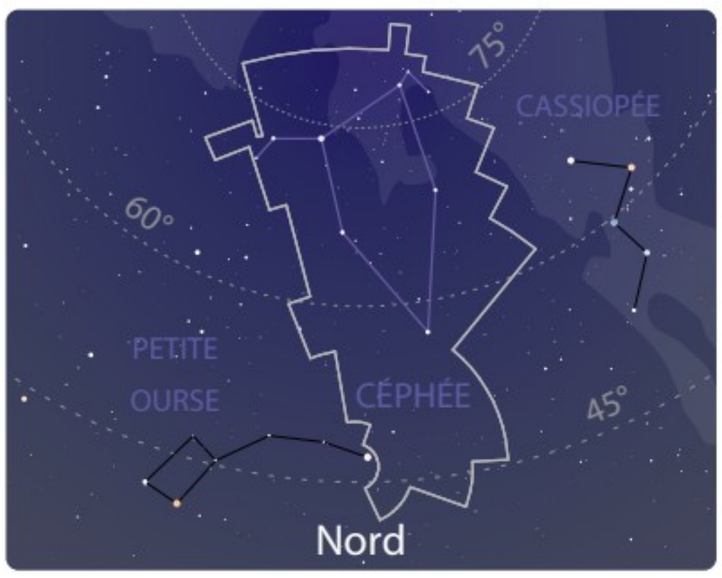
Notre conseil Choisissez un horizon bien dégagé et observez le ciel à la même heure pendant plusieurs matins. Vous verrez la Lune progresser d'un jour à l'autre, passant de Mars à Jupiter. Comparez sa position par rapport aux étoiles : son déplacement deviendra évident.

L'appli du mois

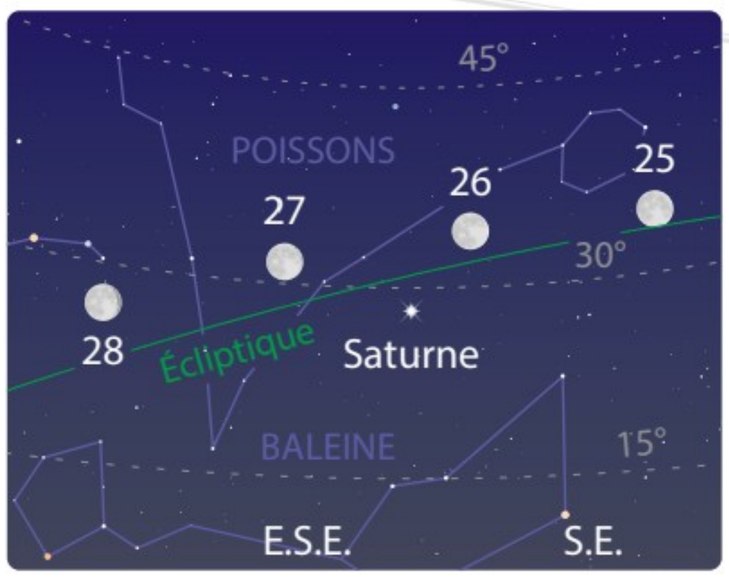
ASTRO SKIES, gratuite sur Android et iOS, pour préparer les soirées d'observation astronomique. Elle rassemble les prévisions météo, les conditions d'observation (turbulence, transparence, couverture nuageuse…), la phase de la Lune, les principaux événements célestes et une sélection des objets visibles. Un pointeur utilisant la caméra du smartphone facilite leur repérage dans le ciel.



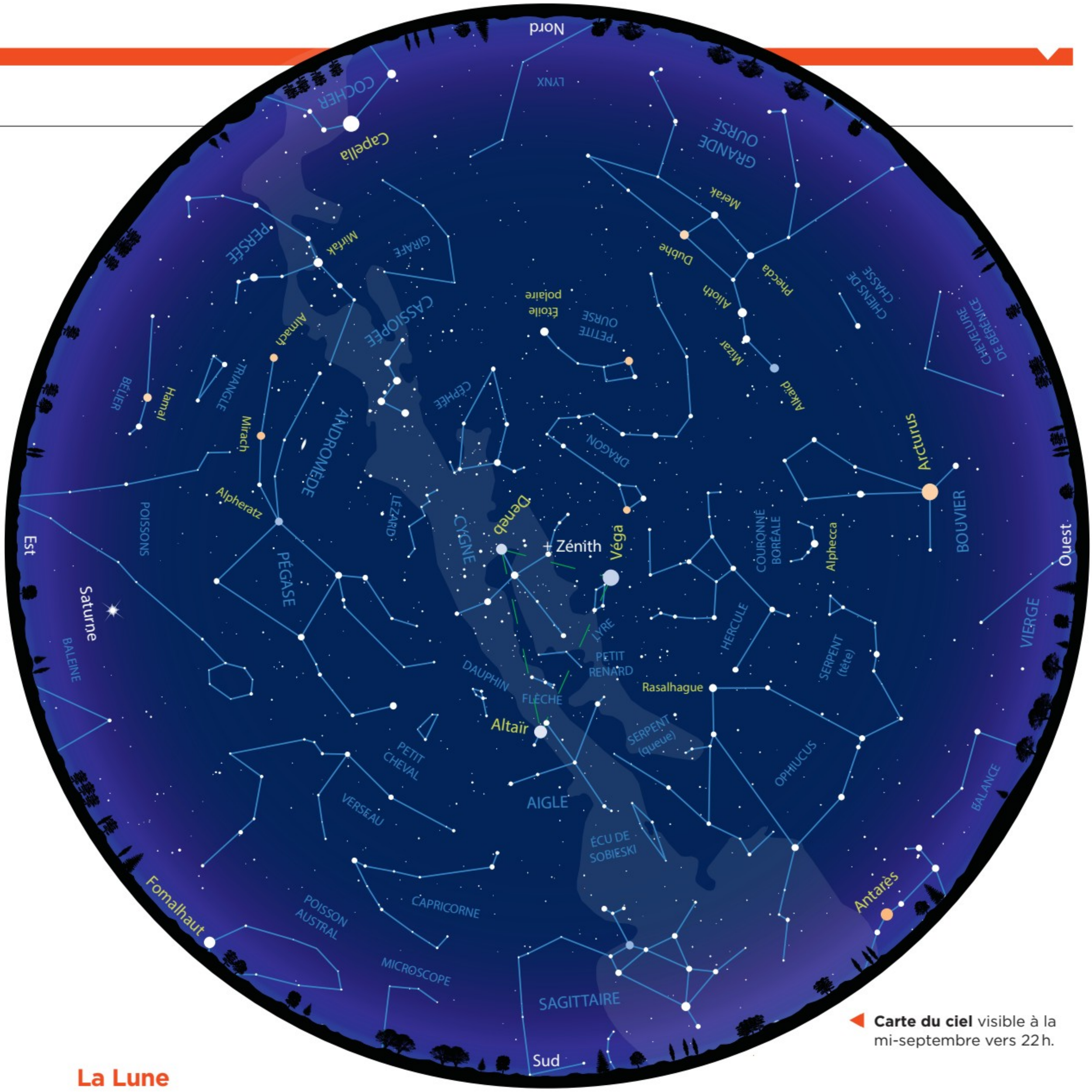
LE 3, 2 H AVANT LE LEVER DU SOLEIL, la Lune en dernier quartier passe près des Pléiades, le célèbre amas d'étoiles du Taureau, haut vers le sud-est.



VERS MINUIT, Céphée culmine au nord, entre Cassiopée et la Petite Ourse. Sa silhouette évoque une maison. Circumpolaire, cette constellation est visible toute l'année.



EN FIN DE MOIS VERS 23 H, la Lune presque pleine voisine avec Saturne dans les Poissons. Son éclat masque les objets du ciel profond, mais pas la planète.



Carte du ciel visible à la mi-septembre vers 22 h.

La Lune

Dernier quartier : vendredi 4 à 10 h (la Lune se trouve alors dans la constellation du Taureau)

Nouvelle Lune : vendredi 11 à 5 h (Lion)

Premier quartier : vendredi 18 à 23 h (Ophiuchus)

Pleine Lune : samedi 26 à 19 h (Poissons)

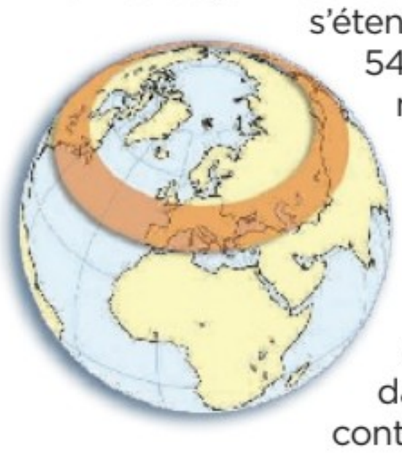
Le Soleil

(à Paris)	Lever	Coucher
1er septembre	7 h 09	20 h 32
30 septembre	7 h 50	19 h 30

Équinoxe d'automne le 23 à 2 h 05

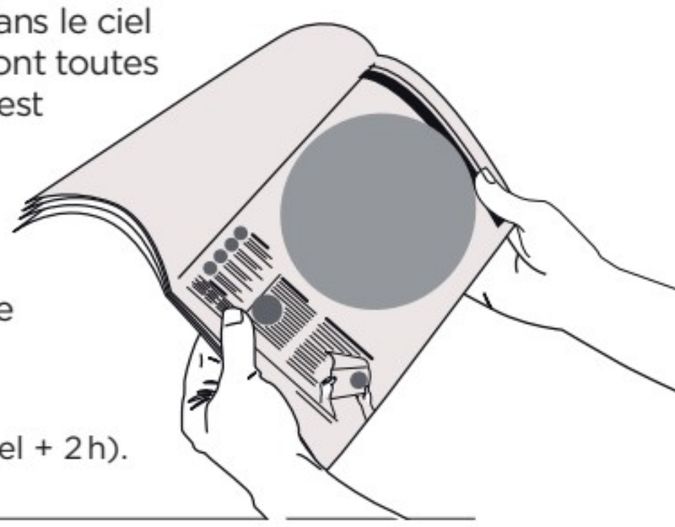
D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.



Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 2 h).

Suivez-nous en vidéo sur le Web

www.sciencesetavenir.fr

ANIMAUX

Likweli, à peine découvert et déjà menacé

DANIEL ROSENGREN/WIKIPEDIA

Une nouvelle espèce de singe vient d'être décrite dans le bassin du Congo, une première en Afrique depuis plusieurs années. Découvrez comment les chercheurs ont identifié ce mystérieux primate qui, à peine nommé par la science, pourrait déjà être menacé d'extinction. **sciav.fr/955likweli**

REPORTAGE

Éoliennes en mer: la biodiversité marine sous surveillance

À bord d'un voilier scientifique, suivez les chercheurs du projet Biodivmanche, partis évaluer l'impact des futures éoliennes de la Manche. Cette vidéo dévoile comment l'ADN environnemental et des robots sous-marins permettent d'inventorier poissons et crustacés sans les perturber. **sciav.fr/955biodiv**

COLLECTION DU MUSÉE NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, CHILI/CNCR

ARCHÉOLOGIE

Le dernier voyage des enfants incas

Il y a plus de 500 ans, trois enfants furent conduits à travers les Andes avant d'être sacrifiés lors d'un rituel inca. Grâce à une enquête mêlant archéologie, médecine légale, scanners médicaux et analyses chimiques de leurs cheveux, des chercheurs sont parvenus à reconstituer plusieurs mois de leur vie. Leurs vêtements, les objets déposés dans leurs tombes, leurs déplacements et même leur alimentation révèlent les différentes étapes de leur long pèlerinage jusqu'aux sommets sacrés. Cette reconstitution montre aussi que la Capacocha ne relevait pas seulement de la religion : en faisant parcourir jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres à ces jeunes victimes, l'Empire inca affirmait son autorité sur les territoires nouvellement conquis. Découvrez dans notre vidéo comment les scientifiques ont fait parler ces momies vieilles de cinq siècles et ce que leur histoire révèle du fonctionnement de l'un des plus puissants empires précolombiens.
sciav.fr/955incas

Nouveau Monde

Avec Olivier Lascar

Chaque dimanche après-midi à partir du 6 septembre

L'actualité de l'IA et ses grands enjeux

franceinfo:

En partenariat avec SCIENCES ET AVENIR

Sophia Boutique, la boutique des lecteurs de SCIENCES ET AVENIR

LA MONTRE CHRONOGRAPHE ORIGIN

TECHNOLOGIE

- Mouvement à Quartz 6 aiguilles
- Chronographe précis à la seconde près
- Lunette tachymètre

PRESTIGE

- Boîtier chromé en alliage de métaux
- Fond en acier inoxydable
- Bracelet en cuir vachette noir grainé façon croco

VUILLEMIN REGNIER

Garantie 2 ans

Délai de livraison 2 semaines maximum

BON DE COMMANDE

À compléter et à renvoyer avec votre règlement sous enveloppe affranchie à :
SOPHIA BOUTIQUE
45, avenue du Général Leclerc
60643 Chantilly Cedex

	RÉF	QTÉ	PRIX	TOTAL
La Montre chronographe ORIGIN	V247		59€	€
Frais d'envoi				OFFERTS
TOTAL DE MA COMMANDE				€

ADRESSE DE LIVRAISON

☐ M. ☐ Mme

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code Postal

Ville :

Téléphone

E-mail : @

Pour la bonne gestion de votre commande, merci d'indiquer votre email

☐ J'accepte de recevoir par mail des offres des partenaires de Sophia Boutique et l'utilisation de mes données (ouverture de mails et clic) par Sophia Boutique pour l'amélioration de mon expérience client

MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Je règle par chèque à l'ordre de **Sophia Boutique**

☐ Pour un paiement par carte bancaire, rendez-vous sur **www.sophia-boutique.com**

☐ Pour régler par téléphone (paiement sécurisé), merci de contacter le **01 55 56 70 54** en précisant le code **PSCA955**

Les Éditions Croque Futur situées Immeuble Village V, 50 – 54 place de l'Ellipse – 92000 Nanterre, et qui éditent Sophia Boutique sont responsables de traitement et collectent des données afin de servir votre commande. Vos données pourront être transmises à d'autres organismes (presse, VAD, caritatif) et sont conservées pour une durée de 3 ans à partir de votre commande. Vous pouvez exercer vos droits d'accès, de rectification, de limitation, de portabilité, d'opposition, d'effacement au traitement de vos données et définir vos directives postmortem à l'adresse mail suivante : dpo@sophiaboutique.fr en joignant une copie de votre carte d'identité. Les Éditions Croque Futur disposent d'un délégué à la protection des données pouvant être contacté Immeuble Village V, 50 – 54 place de l'Ellipse – 92000 Nanterre ou à l'adresse mail dpo@sophiaboutique.fr. À tout moment vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL.

PSCA955

Fournie avec un grand morceau de ciel.

Toit panoramique.*

ID. Polo 100 % électrique

* En option selon finitions.

Modèle présenté : Nouvelle ID.Polo Life Edition avec options. Plus d'informations sur volkswagen.fr

Cycles mixtes gamme Nouvelle ID. Polo WLTP : 13,3-19,2. Rejets de CO_2 (g/km) WLTP : 0 (en phase de roulage). Valeurs au 29/04/2026, susceptibles d'évolution Plus d'informations auprès de votre Partenaire.

SAS Volkswagen Group France, RCS Soissons 832 277 370.

Pensez à covoiturer #SeDéplacerMoinsPolluer